

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobní strojů a konstruování

Návrh diagnostického systému převodovky

The Suggestion of a Diagnostic System for a Gearbox

Student:

Bc.Andrea Bogárová

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing.František Helebrant, CSc.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Andrea Bogárová**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: Návrh diagnostického systému převodovky
The Suggestion of a Diagnostic System for a Gearbox

Zásady pro vypracování:

Klíčovým nástrojem zajištění údržby jako takové ve smyslu objektivního zjišťování technického stavu provozovaného objektu je technická diagnostika v obecném slova smyslu. V aplikaci na převodovky je následně nutný multiparametrický přístup. V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky v obecné rovině.
2. Ideově technický návrh řešení včetně metodického postupu implementace.
3. Aplikaci na podmínky vybrané konkrétní výrobní společnosti.
4. Vyhodnocení přínosů ve srovnání se stávajícím řešením.

Další potřebná technická specifikace zadání bude provedena v průběhu zpracování společností ESOS, s.r.o.


Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost – II. Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava 2004, I. Vydání, 178 s., ISBN 80-248-0650-9
KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, I. vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6
KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4
TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s. ISBN 80-901936-1-7

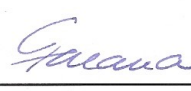
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. František Helebrant, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010
Datum odevzdání: 23.05.2011


doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě *23.5.2011*.....

Bc. Andrea Bogárová!.....

podpis

Prohlašuji, že:

- Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejím využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby

V Ostravě 12.5.2011.....

Bc. Andrea Bogárová

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Andrea Bogárová

Adresa trvalého pobytu autora práce : Zelená 3027/41, 702 00, Moravská Ostrava

Anotace diplomové práce

Bc. BOGÁROVÁ, A., *Návrh diagnostického systému převodovky*. Ostrava : Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011. Diplomová práce, vedoucí: doc. Ing. František Helebrant, CSc.

Diplomová práce je zaměřena na návrh vibrodiagnostického systému převodovky MOTOX.

V úvodní části jsem se zaměřila na základní problematiku údržby v závislosti na hodnocení technického stavu. Také je zde popsána technická diagnostika a její oblasti, jež byly využity k hodnocení technického stavu převodovky a to vibrodiagnostika a tribodiagnostika. Dále je rozebrána problematika návrhu vibrodiagnostického systému, její ideový návrh s následným porovnáním skutečného stavu. Následně je probrána oblast tribodiagnostiky s ohledem na převodový olej a nutné zkoušky ke zhodnocení jeho kvality.

V závěru je zhodnocení výsledků vibrodiagnostického měření a kvality oleje a následná doporučení.

Annotation of Diploma thesis

Bc. BOGÁROVÁ, A., *The Suggestion of a Diagnostic System for a Gearbox*, Ostrava: Department of Production Machine and Design, Faculty of Mechanical Engineering VŠB-Technical University of Ostrava, 2011. Diploma's Thesis. Supervisor: doc. Ing. František Helebrant, CSc.

The aim of this Diploma thesis is to suggest of a vibrodiagnostics system for MOTOX Gearbox.

In the first part of the thesis I focus on the basic issues of maintenance in relation to technical condition assessment. Technical diagnostic is also described, including its subdomains which were used for the assessment of the technical condition of the gearbox, i.e. vibrodiagnostics and tribodiagnosics. The next part of the thesis discusses the issue of suggesting a vibrodiagnostics system, its theoretical concept and comparison with the actual state. The area of tribodiagnosics is discussed, in relation to gearbox oil and the tests necessary for its quality assessment.

The closing part of the thesis analyses the results of the vibrodiagnostic measurements, the quality of oil and the resulting recommendations.

Obsah diplomové práce

Seznam použitých značek a symbolů:	8
0 ÚVOD	9
1 TEORIE ÚDRŽBY	10
2 TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA	12
3 VIBRODIAGNOSTIKA	14
3.1 MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ VIBRACÍ	16
3.2 VIBRODIAGNOSTIKA VALIVÝCH LOŽISEK	21
3.2.1 Alternativní metody měření valivých ložisek	25
3.2.2 Zjišťování poškození valivého ložiska	28
3.3 VIBRODIAGNOSTIKA OZUBENÝCH PŘEVODŮ	31
4 TRIBODIAGNOSTIKA	37
4.1 PŘEVODOVÝ OLEJ	38
4.1.1 Výroba, vlastnosti a aditivace převodového oleje	38
4.1.2 Rozdělení převodového oleje	39
4.1.3 Klasifikace a specifikace převodového oleje	40
4.1.4 Výměna oleje	45
5 ANALÝZA OBECNÉHO NÁVRHU VIBRODIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU	47
6 IDEOVĚ TECHNICKÝ NÁVRH ŘEŠENÍ A APLIKACE NA PŘEVODOVKU MOTOX	58
6.1 IDEOVĚ TECHNICKÝ NÁVRH ŘEŠENÍ VČETNĚ METODICKÉHO POSTUPU IMPLEMENTACE	58
6.2 APLIKACE NÁVRHU NA PŘEVODOVKU MOTOX	59
6.2.1 Technické parametry převodovky	59
6.2.2 Schéma měřících míst	60
6.2.3 Měřicí přístroje	61
6.2.4 Měřicí metoda	62
6.2.5 Podmínky měření:	62
6.2.6 Výsledky měření	62
6.2.7 Metodický postup pro odběr vzorků převodového oleje	66
6.2.8 Rozbor převodového oleje	67
7 VYHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ VE SROVNÁNÍ SE STAVAJÍCÍM ŘEŠENÍM	77

7.1 VIBRODIAGNOSTIKA	77
7.2 TRIBODIAGNOSTIKA	79
8 ZÁVĚR	82
9 Seznam použité literatury	83

Seznam použitých značek a symbolů:

Název:	Význam:	Jednotka:
BCU	metoda nepřímého měření rázových impulsů	-
GMF	zubová frekvence	-
FFT	rychlá Fourierova transformace	-
HFD	vysokofrekvenční detekce	-
K(t)	K(t) parametr	-
RBP	metoda efektivní a špičkové hodnoty zrychlení	-
RMS	efektivní hodnota vibrací	-
SE	špičková hodnota energie	-
SEE	spektrální emitovaná energie	-
SPM	metoda přímého měření rázových impulsů	-
TPM	totální produktivní údržba	-
gSE	špičková energie – metoda obálkové technologie	-
v_{ef}	efektivní rychlost	[mm/s]
X	hmotnostní přírůstek	[%]

0 ÚVOD

Cílem práce je zaměřením se na problematiku kontroly a zhodnocení technického stavu převodovky s následným doporučením o následujícím provozu.

K hodnocení technického stavu byly využity metody technické diagnostiky. Jelikož oblast technické diagnostiky je rozsáhlá, budu se zabývat problematikou vibrodiagnostiky a tribodiagnostiky a s tím související tematikou, na níž je postavena kontrola technického stavu převodovky.

Vibrodiagnostika je metoda bezdemontážní diagnostiky, jejímž cílem je měření mechanického kmitání, neboli vibrací, pomocí přístrojů k tomu určených, na jejichž základě je dále určován technický stav objektu a jeho prognóza s následným doporučením oprav a údržby, jež nám navrátí objekt do provozního stavu.

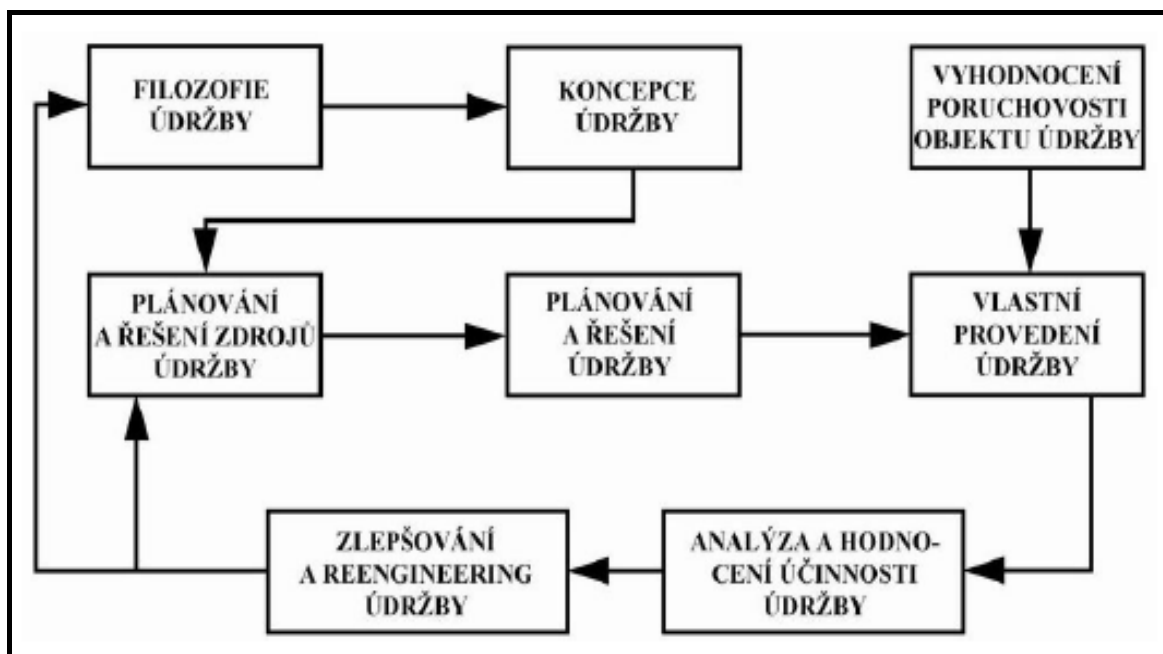
Tribodiagnostika je také bezdemontážní metodou, jejímž cílem je informovat, vyhodnotit o výskytu cizích látek v oleji, a to jak z kvalitativního, tak z kvantitativního hlediska, na jehož podkladech lze možno stanovit příčiny poškození strojního zařízení nebo určit místo vzniku mechanické závady zkoumáním částic vzniklé opotřebením.

1 TEORIE ÚDRŽBY [1]

V souvislosti s danou problematikou úzce souvisí údržba, která je nedílnou součástí provozu strojů a zařízení, jejímž cílem je udržet objekt v provozuschopném stavu, zlepšovat efektivnost zařízení, předcházet poruchám a poruchovým stavům, zajištění bezpečného provozu, dosahování optimálních nákladů na údržbu. Údržba je dále spojena s pojmem provozní spolehlivost, ke které se vztahují tyto pojmy jako provozuschopnost, bezporuchovost, bezpečnost, udržovatelnost, pohotovost. Kde provozní spolehlivost zabezpečujeme pomocí zmíněné údržby, která souvisí s:

- 1) Preventivností (předcházení poruchám pravidelnými kontrolami)
- 2) Proaktivností (nalézání příčin poruchy)
- 3) Produktivností (řešení produktivity)

Z tohoto pohledu řešíme procesně technickou činnost, ke které se vztahují činnosti, jak je možno vidět na obr.1



Obr.1 Základní procesy realizace údržby [1]

Z obecného hlediska dělíme údržbu na:

- a) *Autonomní údržba* – za použití „Návodu k údržbě“ se jedná o běžné udržování (čištění, mazání) za účelem snižování opotřebení
- b) *Opravy* – pomocí nich odstraňujeme důsledky opotřebení vzniklé za provozu
- c) *Kontrolně revizní a inspekční činnost* – jedná se o odborné prohlídky za využití technické diagnostiky a revize prováděné na stanovených zařízeních

Údržbu provádíme třemi způsoby:

- 1) Údržbou podle skutečného stavu objektu
- 2) Údržbou podle časového plánu
- 3) Údržbou po poruše

K zajištění údržby je využita:

- Tribologie a tribotechnika
- Technická diagnostika
- Demontážní a montážní prostředky a postupy
- Hodnocení údržby a reengineering
- Základní legislativa
- Manager údržby
- Výrobní proces a technologie
- Správné dimenzování
- Teorie zásob
- Ochrana životního prostředí

2 TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA [1,2]

Technická diagnostika nám slouží k objektivnímu posouzení technického stavu objektu na základě monitorování. A zajišťuje plnění funkcí strojů a zařízení za stanovených podmínek.

Obecně technickou diagnostiku dělíme na:

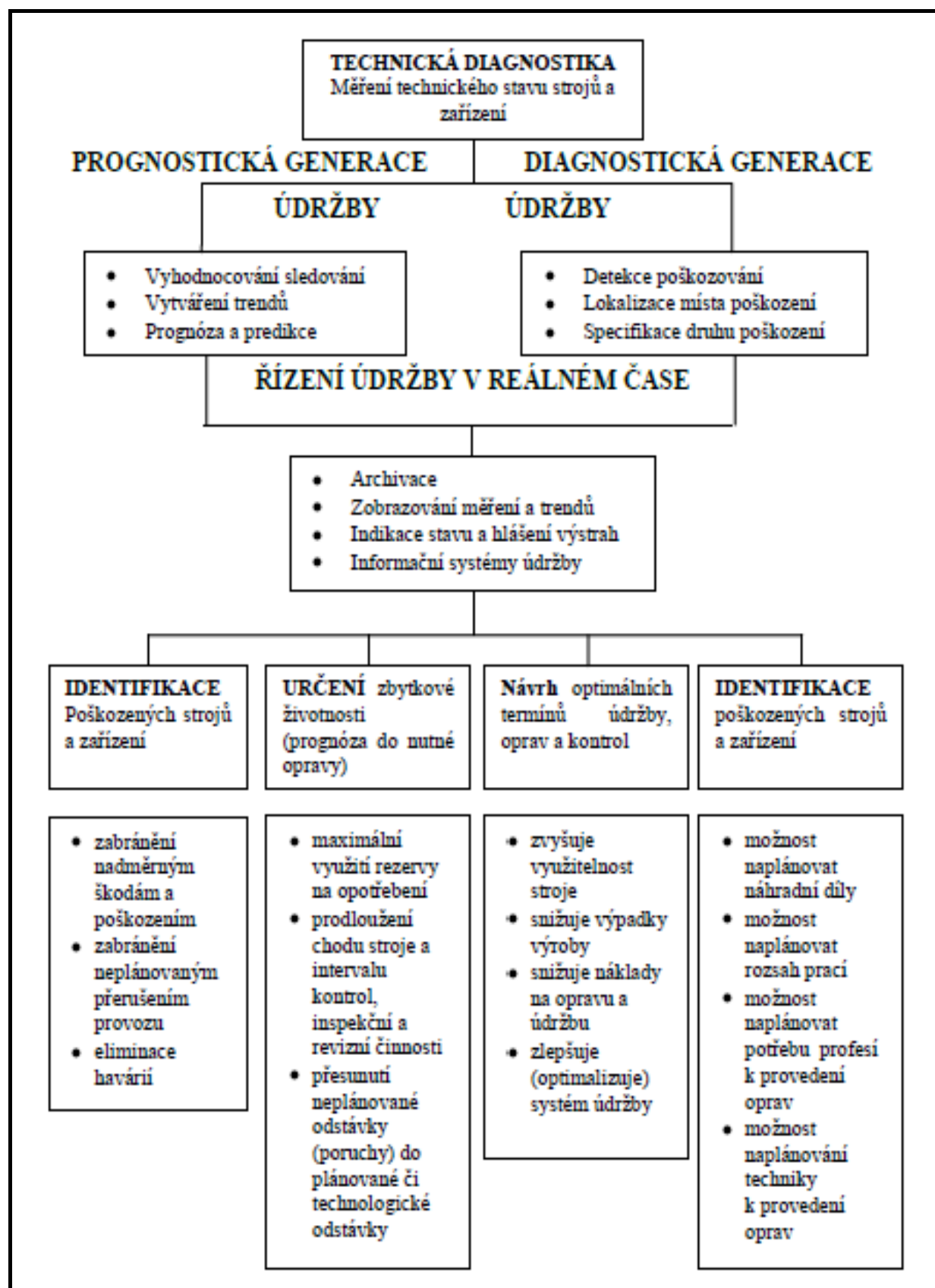
a) *Technickou bezdemontážní diagnostiku (TBD):*

- Provozní technická diagnostika (dělíme na základně měřeného fyzikálního diagnostického parametru) - termodiagnostika, vibrodiagnostika, tribodiagnostika, akustická diagnostika, atd.
- Testová diagnostika a její hypotézy – funkční diagnostika (testování vybraných rozhodujících technických parametrů)

b) *Technickou nedestruktivní diagnostiku*

- Pomocí níž sledujeme vnitřní a povrchové vady a necelistvosti materiálu, tzv. defektoskopie

Problematika technické diagnostiky, jak již bylo zmíněno, je úzce spojena s údržbou. Systém technické diagnostiky je relativně uzavřený systém, jehož výstupem jsou informace o objektivním technickém stavu s prognózou zbytkové životnosti daného objektu v reálném čase, jež umožní snížení nákladů na údržbu, prostojů, prodloužení životnosti a provozní schopnosti, zkvalitnění péče strojního zařízení a součástí, snížení nebezpečí havárií, úspora materiálu, zvětšení cyklů oprav, ale také možnost snížení elektrické energie, zvýšení bezpečnosti.



Obr.2 Úlohy a přínos technické diagnostiky [2]

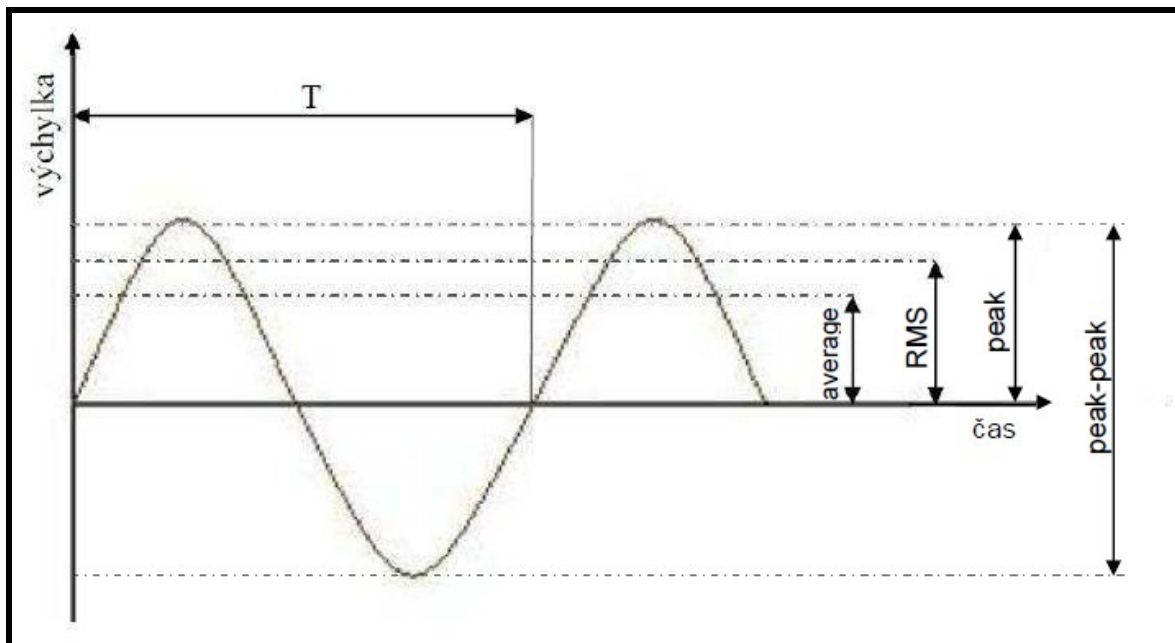
3 VIBRODIAGNOSTIKA [2,3,4,7,8,9,10,12]

Vibrodiagnostika je jednou z metod technické diagnostiky, jejímž cílem je sledování vibrací rotujících strojů.

Vibrodiagnostika souvisí s provozním zatěžováním strojů a strojních zařízení, při kterém dochází k opotřebovávání komponentů strojních zařízení, což se projeví např. vibracemi, hlučností, zahříváním komponentů atd. Pomocí vibrodiagnostiky lze sledovat např. technický stav ložisek, ozubených převodů. Také diagnostikovat nesouosost, nevývahu, špatné uložení ložisek na hřídeli atd. Na základě podkladů zjištěných z průběhů měření vibrací se provádí analýza okamžitého technického stavu (tzv. diagnóza) a určení podmínek dalšího provozu.

Vibrace, neboli mechanické kmitání jsou dynamickým jevem vznikajícím v závislosti pohybu tělesa v klidové rovnovážné poloze. Hodnota vibrací je ovlivněna velikostí budících sil, směrem působení a kmitočtem.

Nejjednodušším příkladem mechanického kmitání je periodický průběh harmonického kmitání (obr.3).



Obr.3 Příklad harmonického kmitání

Popis obr.3:**• Špička X_{max} (peak)**

- jedná se o vzdálenost mezi vrcholem vlny a nulovou úrovní
- využívá se pro zjištění špičky, nikoliv pro hodnocení časového průběhu či vyhodnocení kmitání

• Špička-špička (peak-to-peak)

- je to nejnižší a nejvyšší vzdálenost vrcholem vlny

• Průměrná hodnota X_{ave} (average)

- jelikož, některé signály nemají ideální sinusový průběh, tak je průměrná hodnota nenulová (0,637 x špička)
- tuto hodnotu lze získat zprůměrováním absolutních hodnot časového průběhu signálu (4.1)

$$X_{ave} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |x| \cdot dt, \quad (4.1)$$

• Efektivní hodnota X_{RMS} (RMS)

- nejčastěji používané vyjádření, neboli poměr energie nebo výkonu stejnosměrného střídavého proudu, harmonický pohyb (4.2)

$$X_{RMS} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot X_{ave} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot X_{max}, \quad (4.2)$$

- signalizuje nám časový průběh mechanického kmitání
- výpočet střední kvadratické hodnoty pro jiné než harmonické kmitání (4.3)

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T x^2 \cdot dt}, \quad (4.3)$$

K diagnóze se vztahují tyto pojmy:

- Detekce – odhalení vznikající poruchy
- Lokalizace – nalezení místa výskytu poruchy
- Specifikace – vyhodnocení a určení příčiny poruchy dle diagnostického signálu
- Predikce – stanovení zbytkové životnosti (prognóza), strategické plánování a řízení údržby

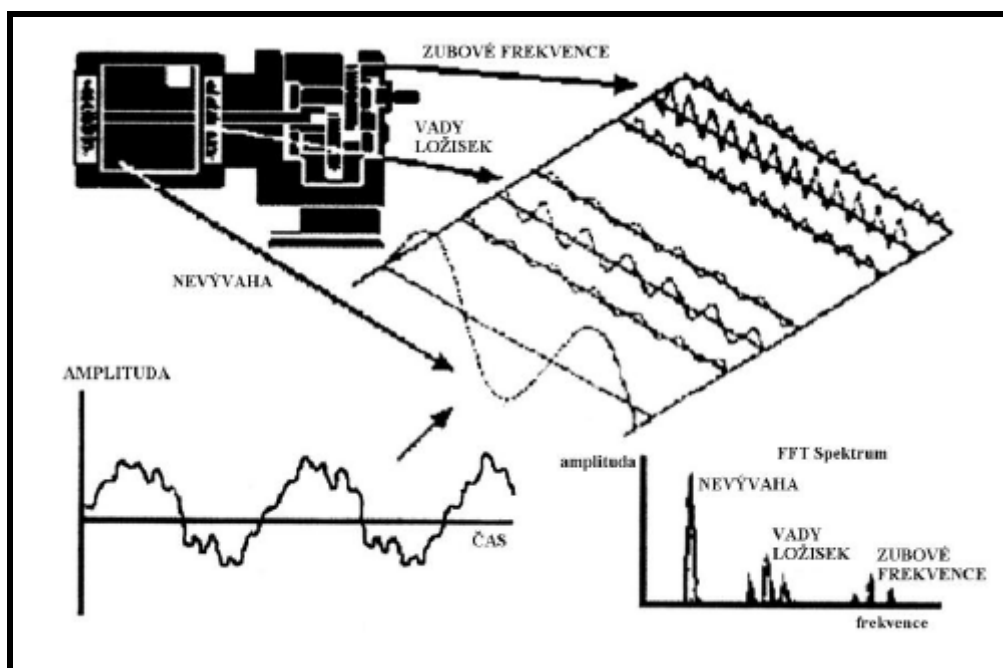
K tomu, abychom byli schopni hodnotit technický stav objektu, je potřeba diagnostického systému, jež je tvořen diagnostickými prostředky, což jsou soubory technických zařízení a postupů, metody pro analýzu. Dále je tvořen diagnostickým objektem a obsluhou.

3.1 MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ VIBRACÍ

Jak jsem se již zmínila, měřícím prvkem jsou vibrace, které nám objektivně hodnotí technický stav, na jehož základě se plánuje potřebná údržba.

K měření vibrací se využívá nejčastěji algoritmus FFT (Fast Fourier Transformation), používán pro obecné neperiodické funkce. Průběh signálu je obvykle zobrazován v čase, kde je rozkládán na soubor harmonických funkcí lišících se amplitudou, úhlovou frekvencí a počáteční fází. Rozklad periodické funkce se spojitým časem na kombinaci harmonických signálů je nazýván Fourierovou řadou, která vyhodnocuje periodické nebo kvaziperiodické signály z délky záznamu, který si volíme a tím se urychlí výpočet Fourierovy transformace Fourierovy řady.

Princip měření je znázorněn na obr.4.



Obr.4 Princip FFT [2]

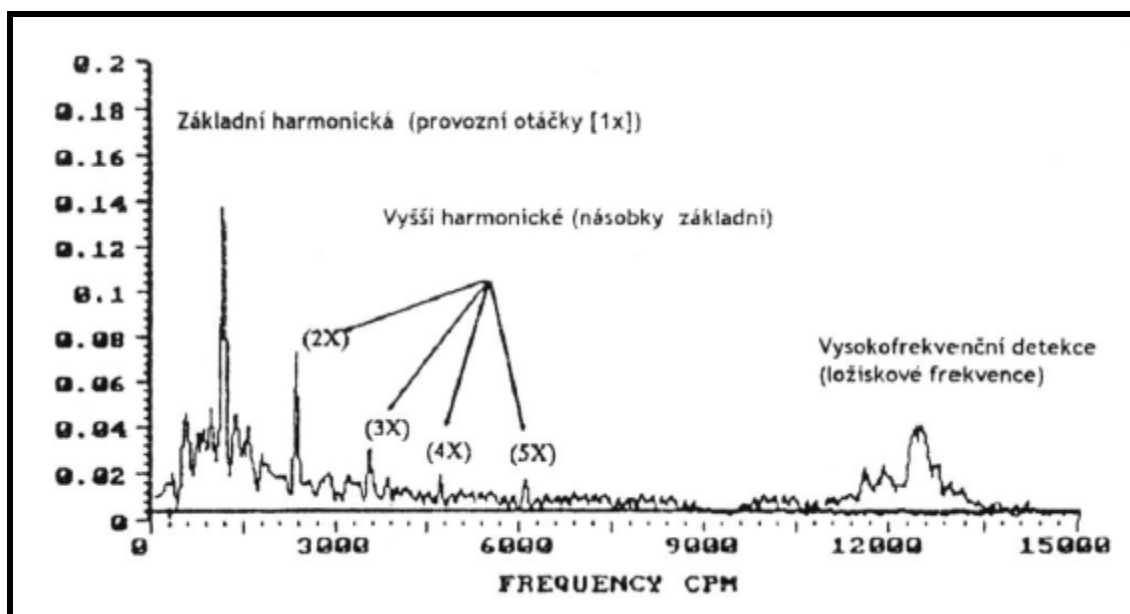
Jednou z analýz používající Fourierovu transformaci je frekvenční analýza hledající periodické děje, které pak zobrazí v souřadném systému a to buď ve frekvenčním spektru – souřadný systém amplituda (osa y) a frekvence (osa x), nebo v časovém průběhu – souřadný systém amplituda (osa y) a čas (osa x). Naměřené signály jsou po té zobrazovány ve formě tabulek a grafů pomocí frekvenčního analyzátoru vibrací.

Frekvenční rozklad periodického děje pomocí Fourierovy transformace je znázorněn sinusovými signály s příslušnou amplitudou a počáteční fází.

Další možností transformace časového signálu na frekvenční spektrum je za pomoci pásmové analýzy, kdy je signál filtrován řadou frekvenčních propustí o určité šířce pásma.

U provozního měření, resp. měření in situ přímo na diagnostikovaném objektu, je nutno dodržet základní podmínku za opakovatelných a ustálených provozních podmínek, tzn. provádět měření při chodu na prázdko, resp. min. či max. otáčkách apod., abychom eliminovali proměnné otáčky zatížení.

Každá frekvenční špička ve spektru je vykazována určitými silami, tudíž hledáme příčinu vibrací, způsobem uvedeným na obr.4, kde můžeme naměřit frekvenčním spektrem jako je na obr.5.

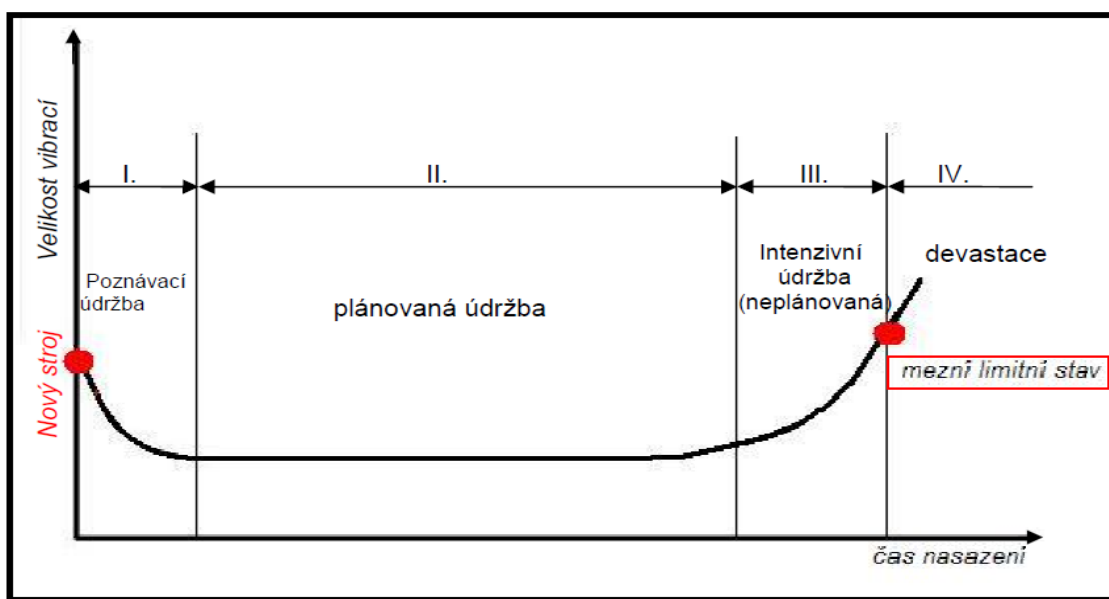


Obr.5 Frekvenční spektrum [2]

Jak už může být patrné, každá závada generuje vibrace na dané frekvenci a podstata vlastní analýzy je stavěna na těchto bodech:

- Prvně změření tzv. referenčního frekvenčního spektra za správného chodu diagnostikovaného objektu
- Vyhodnocení naměřeného frekvenčního spektra, jež je porovnáváno s :
 - Naměřeným frekvenčním spektrem současného stavu a výchozím referenčním frekvenčním spektrem vibrací, kde hledáme zvýšení amplitudy na lokální frekvenci → zvýšení na 2,5 násobek referenční hodnoty je pokládáno za důležitou změnu stavu, 10 násobek je znakem nutné opravy, resp.výměny
 - Naměřenou hodnotou vibrací s limitní hodnotou, která nám slouží k tvorbě limitních hodnot
 - Nárůstem vibrací na dané lokální frekvenci v porovnání s posledními měřeními
- Zhodnocení mohutnosti vibrací (intenzita vibrací) formou trendování, čili sledování vývoje velikosti vibrací v průběhu dané časové oblasti, včetně určení zbytkové životnosti nebo nutnosti do nutné opravy.

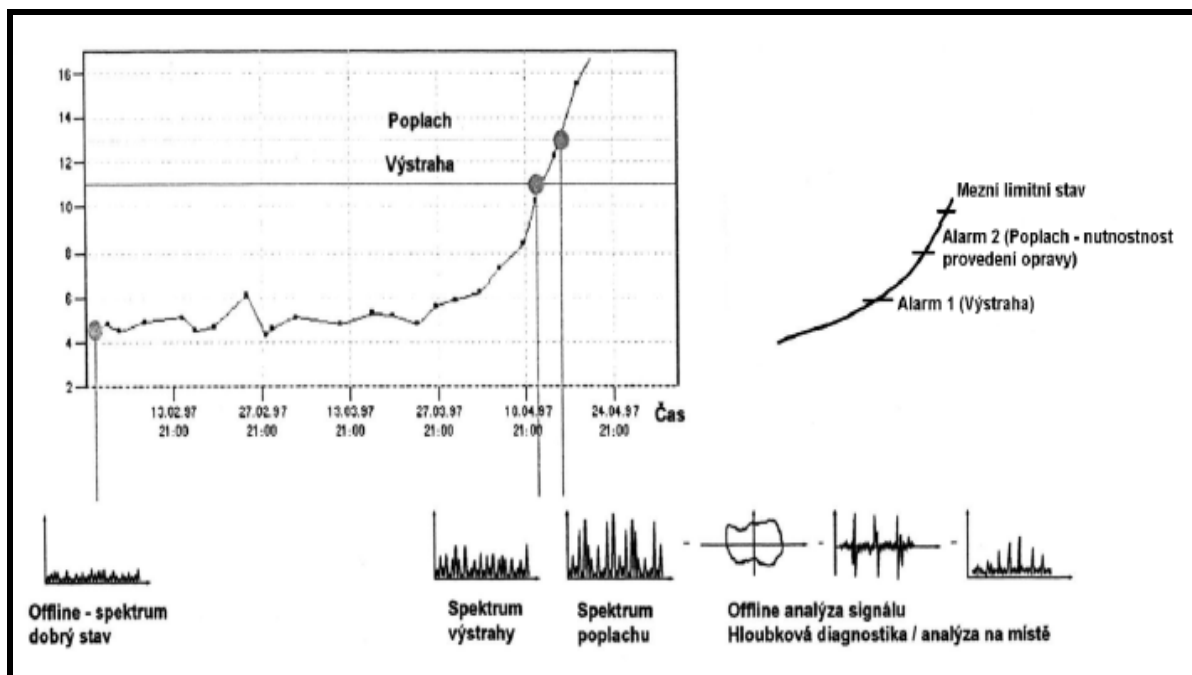
Celková mohutnost kmitů je hodnota naměřená na funkčně nejdůležitějším místě stroje (tzv. lokální frekvence – např. otáčková frekvence vstupu, otáčková frekvence prvního ozubení apod.), kterou pak porovnáváme s její předchozí hodnotou a limitní hodnotou. Na základě tohoto srovnání je možné určit objektivně technický stav dané části. Vynášíme-li hodnoty do funkční závislosti $v_{ef} = f(t)$, získáme VANOVU KŘIVKU (obr.6). Tato křivka nám slouží k prognóze zbytkové životnosti (čas do nutné opravy dané součásti) a souvisí také s dalším plánováním údržby.



Obr.6 Vanová křivka

Legenda k obr.6: I.záběhová fáze;II.provozní fáze;III.doběhová fáze;IV.obnovovací fáze

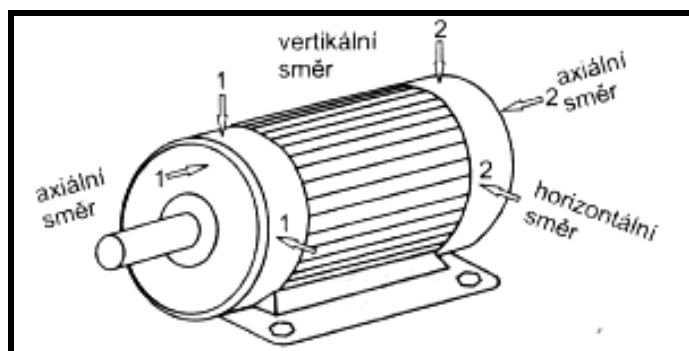
V textu jsem se již několikrát zmínila o trendování, neboli vývoj vibrací v čase pro vypočtené lokální otáčkové frekvence. Trendový graf (obr.7) zobrazuje současnou a předchozí hodnotu vibrací v závislosti na čase se zobrazením nastavené úrovně výstrahy a poplachu. Trendy v doběhové fázi vanové křivky nám umožní predikovat zbytkovou životnost, tzn. že provádíme regresi průběhu trendu do dané limitní hodnoty, z čehož dostaneme údaj pro plánování a řízení údržby.



Obr.7 Trendování vibrací [2]

Limitní hodnoty jsou určeny výrobcem zařízení, normou a předpisy (ČSN EN, ČSN ISO, ISO, API, DIN apod.) až po matematické statistické metody. Ovšem limitní hodnoty jsou proměnlivé hodnoty, závislé na provozních podmínkách a nelze tedy jednou jedinou limitní hodnotou zhodnotit celý konstrukční uzel. Dle ČSN ISO 10 816 je určena úroveň hodnocení pro limitní hodnoty a to jako DOBRÝ, USPOKOJIVÝ, NEUSPOKOJIVÝ, NEPŘÍPUSTNÝ. Překročení musí být důkladně analyzované a pak je možné následně vyvozovat patřičné závěry.

Na základě celkových vibrací hodnocených pomocí měřené rychlosti jsou podle normy ČSN ISO 10 816 tyto limitní hodnoty určeny dle výkonnosti strojního zařízení, tak jak je uvedeno v tab.1. Mohutnost vibrací, neboli efektivní hodnoty rychlosti jsou měřeny ve třech směrech – horizontální, vertikální, axiální.(obr.8)



Obr.8 Měření vibrací elektromotoru [3]

Rozsah typických hodnot hranic pásem efektivní rychlosti vibrací [mm/s]				
0,28				0,28
0,45				0,45
0,71				0,71
1,12				1,12
1,8	Hranice pásma A/B 0,71 až 4,5			1,8
2,8				2,8
4,5				4,5
7,1		Hranice pásma B/C 1,8 až 9,3		7,1
9,3				9,3
11,2			Hranice pásma C/D 4,5 až 14,7	11,2
14,7				14,7
18				18
28				28
45				45

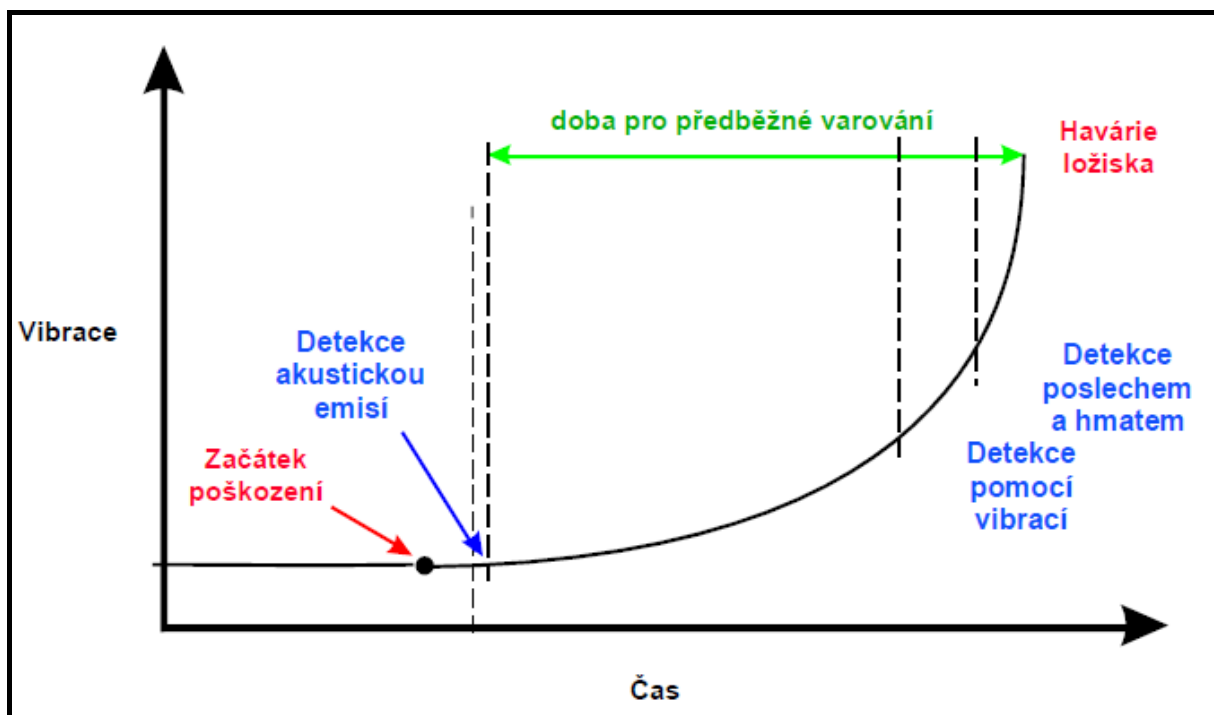
Tab.1 Orientační meze hodnocení stavu vibrací dle ČSN ISO 10 816 [7]

Popis tab.1: pásmo A – nový stroj; pásmo B – přípustné vibrace v neomezeném provozu; pásmo C – vibrace na mezi přípustnosti s omezeným provozem; pásmo D – nepřípustné vibrace a poškozený stroj.

3.2 VIBRODIAGNOSTIKA VALIVÝCH LOŽISEK

Valivá ložiska jsou nejrozšířenější prvek zabezpečující přenos síly mezi prvky rotujících strojů. Nejčastějšími poruchami, které se mohou u valivých ložisek objevit je odloupenutí, vydrolení (pitting) na valivých drahách či valivých elementech projevujících se zvukovými signály, nárůstem vibračních signálů na frekvenci nárazů, také na harmonických i rezonančních frekvencích.

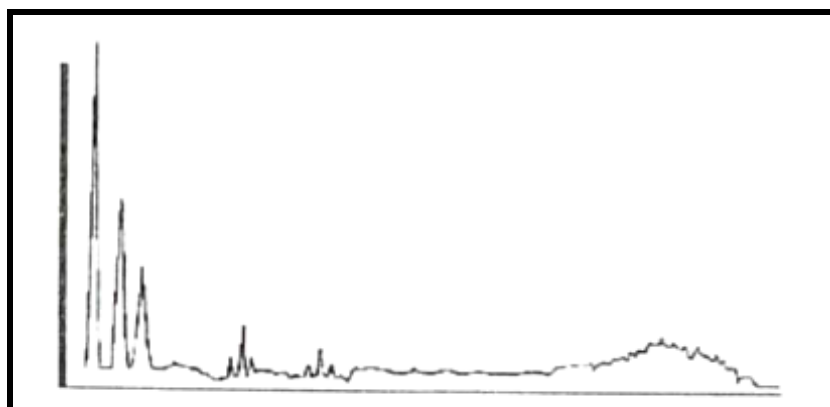
Příčinami poškození ložisek může být nesprávné mazání, znečištěné mazivo či větší zatížení způsobené nesouosostí, nevývahou nebo ohnutým hřídelem. Tudíž je velice důležité provádět pravidelné kontroly trendů strojů (obr.9), jenž nám slouží k posouzení stavu těchto ložisek.



Obr.9 Trendování měřených vibrací valivých ložisek [2]

U valivých ložisek se setkáváme s vibracemi nižších amplitud a vyšších frekvencí, využívá se tedy odfiltrování otáčkových signálů k získání požadované hodnoty zesílením opakujících se složek signálů od defektu valivého ložiska.

Obtížnost měření je v separování a zjištění malých signálů, které jsou buzeny ložiskem v přítomnosti větších vibračních signálů jiných komponentů. (obr.10)

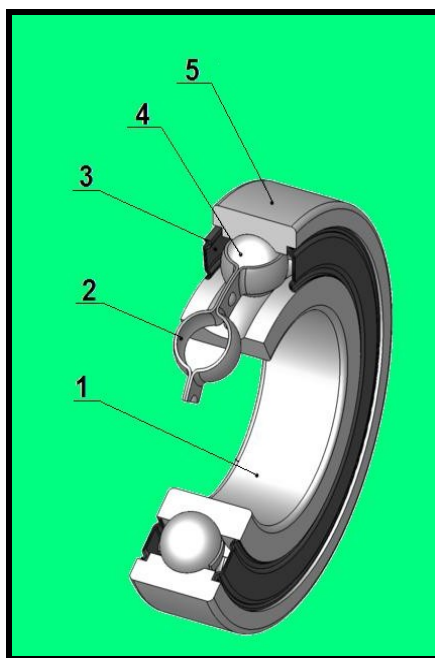


Obr.10 FFT spektrum valivého ložiska [2]

Při výčtu ze spektra FFT u složitějších strojů bývají hodnoty poškození vnitřního, vnějšího kroužku a valivých těles často skryty šumem a jinými složkami buzení. Tudíž je

důležité znát frekvence rázového buzení těchto částí a také klece, kde vlastní frekvence ložiska se pohybují v rozmezí 0,5 – 2 kHz.

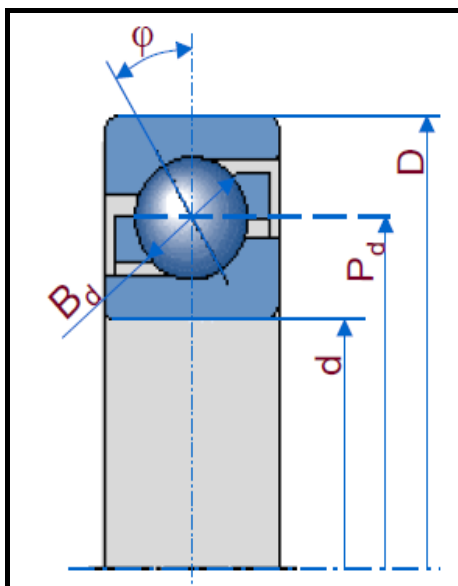
Jakmile si při nadměrném přetížení povrchu valivého ložiska (obr.11) projeví praskliny nebo vyštípnutí, jsou snímány impulsy síly valících se prvků přes tyto změny v povrchu. Frekvence těchto impulsů se vztahují ke geometrii ložiska (obr.12) a k otáčkové frekvenci hřídele a jsou určeny vztahy.



Obr.11 Kuličkové valivé ložisko [10]

[http://cs.wikipedia.org/wiki/Kuli%C4%8Dkov%C3%A9_lo%C5%BEisko]

Legenda k obr.11 : 1- vnitřní kroužek, 2 – klec, 3- těsnění, 4 – valivé elementy, 5 – vnější Kroužek



Obr.12: Geometrie valivého ložiska [9]

[http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_dagnostika/VIBDI_6.pdf]

- *poškození vnějšího kroužku dle vztahu (4.4)*

$$BPFI = \frac{n}{2} \cdot \frac{RPM}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \phi \right), \quad (4.4)$$

- *poškození vnitřního kroužku dle vztahu (4.5)*

$$BPFO = \frac{n}{2} \cdot \frac{RPM}{60} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \phi \right), \quad (4.5)$$

- *poškození valivých elementů dle vztahu (4.6)*

$$BSF = \frac{P_d}{2 B_d} \cdot \frac{RPM}{60} \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \right)^2 \cos^2 \phi \right], \quad (4.6)$$

- *poškození klece dle vztahu (4.7)*

$$FTF = \frac{1}{2} \cdot \frac{RPM}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \phi \right), \quad (4.7)$$

Kde:	BPFI	... poškození vnějšího kroužku ložiska [-]
	BPFO	... poškození vnitřního kroužku ložiska [-]
	BSF	... poškození valivých elementů [-]
	FTF	... poškození klece [-]
	n	... počet valivých elementů [ks]
	RPM	... otáčky hřídele [1/min]
	B_d	... průměr valivého elementu [m]
	P_d	... střední průměr [m]
	$\cos \phi$... kontaktní úhel [°]

3.2.1 *Alternativní metody měření valivých ložisek*

- SPM (Shock Pulse Meter)

Jedná se o metodu, která snímá krátkodobé tlakové vlny vyvolané mechanickými rázy vznikajícími vlivem drsnosti ložiskových drah a valivých těles. Rozmezí snímání rázových impulsů je 30 – 40 kHz. Snímané hodnoty jsou vykreslovány do grafu, kdy určujeme tzv. prahovou úroveň (dBc) a špičkovou úroveň (dBm), kdy dané hodnoty nesmí překročit do červeného pole, neboli 35 dB, kdy je ložisko vadné. Tato metoda se používá tehdy, jsou – li známy přesné parametry a rozměry ložiska, tak i instalace měřících míst.

- BCU (Bearing Condition Unit)

Mluvíme o tzv. nepřímém měření rázových impulsů pomocí energie akustických kmitů šířících se v pevném materiálu, u níž je dosahováno hodnot v kmitočtové oblasti 20 – 40kHz, kde se vyhodnocují špičkové hodnoty měřeného signálu, které jsou také závislé na rozměrech ložiska.

- RBP (Related Bearing Product)

Pomocí této metody zjišťujeme efektivní a špičkové hodnoty zrychlení v rozsahu 2 -16 kHz.

- Crest factor

Metoda, kdy jsou v časové posloupnosti a ve frekvenčním pásmu 10 Hz – 10 kHz vyhodnocovány hodnoty poměru špičkového zrychlení a jeho střední hodnoty.

- Q faktor

V tomto měření je vyhodnocován poměr mezi střední a špičkové hodnoty amplitudy emitovaného ultrazvukovým signálem na pracovní frekvenci 40 kHz.

- K(t) parametr

Metoda, u níž na základě měření a dosazením do daného vztahu (4.8) vyhodnotíme.

$$K(t) = \frac{a_{ef(0)} \cdot a_{peek(0)}}{a_{ef(t)} a_{peek(t)}} [-] , \quad (4.8)$$

Kde: (0)... vychozí hodnoty zrychlení v čase 0

(t) ... okamžité hodnoty zrychlení v čase t

ef ... efektivní hodnoty zrychlení

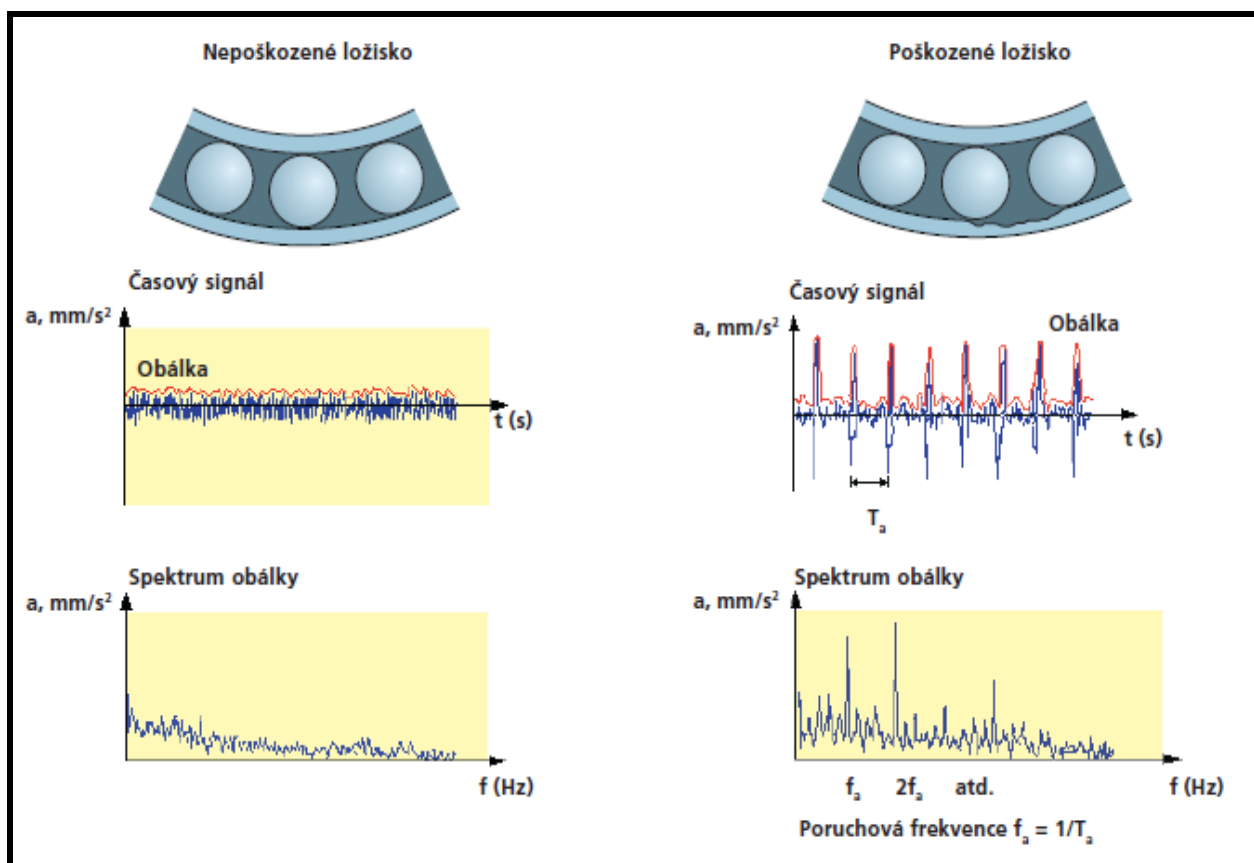
peek ... špičková hodnota zrychlení

- Kurtosis

Jedná se o posouzení statistického rozdělení amplitud chvění s ohledem na odchylku od normálního rozdělení na frekvenci 2,5 – 80 kHz rozdělených do pěti frekvenčních pásem. Hodnotíme na základě K-faktoru.

- Obálková metoda (Envelop) (obr.13)

Metoda je využívána u měření ložisek či ozubených kol, kde je opakující charakter. Vytváří se signály s mnohem menší amplitudou a vyššími frekvencemi, neboli zvýrazňuje malé signály. Jedná se o dvoustupňový proces, kdy dochází nejprve k oddělení ložiskových signálů o vyšších frekvencích od nízkofrekvenčních vibrací stroje pomocí pásmového filtrování.



Obr.13 Příklad obálkové metody kuličkového ložiska [12]

[http://www.prufttechnik.com/fileadmin/user_upload/COM/Machinery_Service/PDFs/VIB_Booklet_CZ.pdf]

• Metoda SEE (Spektral Emitted Energy)

Za využití akustické emise generované kovem jsou zjišťovány závady ložiska a ozubených převodů. K měření akustické emise jsou využívány speciální snímače, které zaznamenávají ultrazvukovou akustickou emisi, jež vzniká následkem poškození elementů ložisek objevující se ve frekvenční oblasti 150 – 500 kHz.

Akustické emise se objevují v případech jako je:

- Defekty ložisek
- Nedostatečné mazání
- Vzniku tření
- Elektrický šum
- Znečištění plastického maziva
- Dynamické přetížení

- Tření ložiska
- Elektricky generované signály
- Kontakt kov – kov

- Vysokofrekvenční detekce (HFD – High Frequency Detection)

Měří signály ve vysokofrekvenčním pásmu 5 kHz – 60 kHz. Měření je prováděno akcelerometry a hodnoty jsou uváděny v „g“. Měří se špičkové či efektivní hodnoty, apod.

- SE (Spike Energy)

Jedná se o metodu, která je závislá na subjektivním hodnocení diagnostika a vychází ze tří základních veličin měření a to:

- Střední hodnota, která je v rozsahu 5 - 50 kHz
- Výkmit zrychlení pulsů
- Frekvence pulsů

3.2.2 Zjišťování poškození valivého ložiska

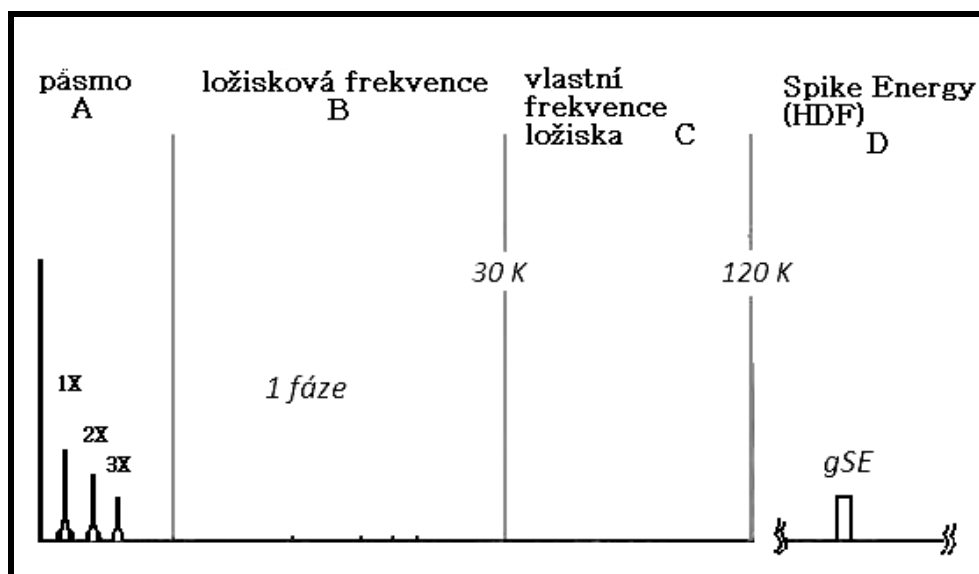
Jak již bylo zmíněno, poškození ložiska se objeví v krátkém časovém intervalu, když se už valivé dráhy ložiska začínají opotřebovávat a v oblasti, kde je největší zatížení se objeví mikropitting, což znamená snížení životnosti ložiska.

Rozvoj poškození ložiska je děleno do čtyřech etap:

a) První etapa (obr.14)

Ložisko ještě můžeme hodnotit jako „dobré“, avšak jakmile se objeví mikropitting, který má vliv na stav ložiska, na jehož valivých drahách se rozvíjejí velmi malé krátery, na něž dopadají nárazy s dostatečnou silou, aby byly generovány vibrační signály v oblasti rychlosti vibrací. Za využití metody SEE, která je patentovaná SKF, často detekuje signál,

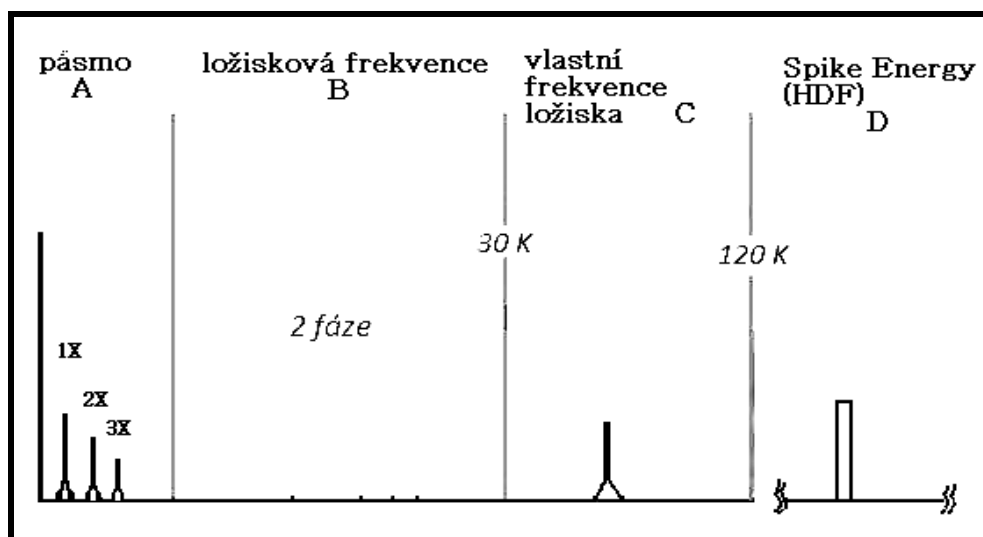
který se vztahuje k periodickému plošnému doteku. Při zhoršování ložiska, kdy valivé prvky narážejí na vady, v FFT spektru bývají vidět harmonické násobky frekvence závady. Nejčastější problémy ložisek se objevují v ultrazvukovém frekvenčním pásmu v rozsahu asi od 250 - 350 kHz. Při větším opotřebení se hodnoty frekvence snižují asi na 20 kHz až 60 kHz. Tyto frekvence jsou zaznamenávány metodou Spike Energy (gSE), metodou HFD (g) a také metodou Shock Pulse (dB).



Obr.14 První etapa poškození valivého ložiska [4-vlastní úprava]

b) Druhá etapa (obr.15)

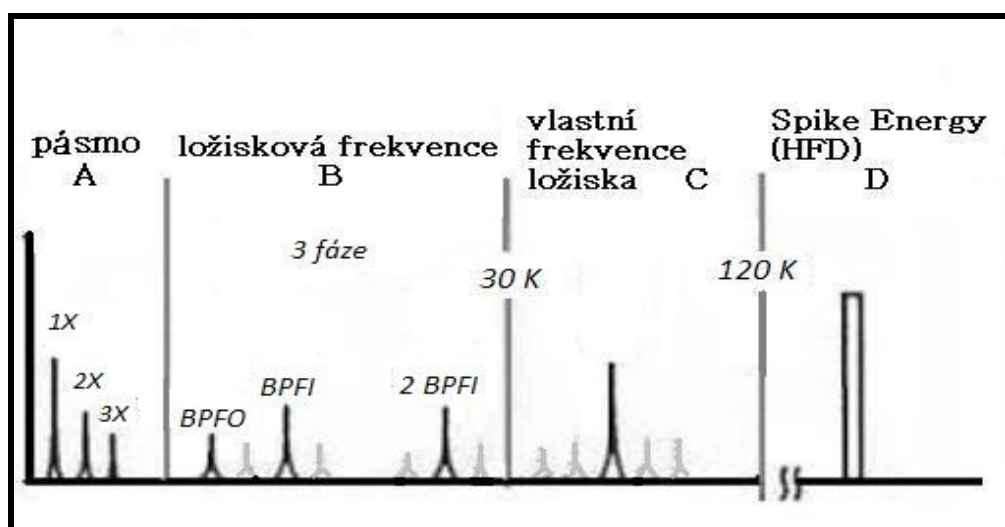
Na ložisku je určité opotřebení, jež vykazuje harmonické násobky, avšak ložisko není nutné měnit. Ale je vhodný pravidelnější sběr dat. Další projevy poškození mívají lineární průběh po dobu, než dochází k dalšímu zhoršování stavu ložiska, kdy je již průběh nelineární a může být trendováno. Jsou zaznamenávány vlastní frekvence v oblasti 500 Hz až 2 kHz. Na konci této etapy se objevují postranní pásma nad a pod rezonanční špičkou.



Obr.15 Druhá etapa poškození valivého ložiska[4-vlastní úprava]

c) Třetí etapa (obr.16)

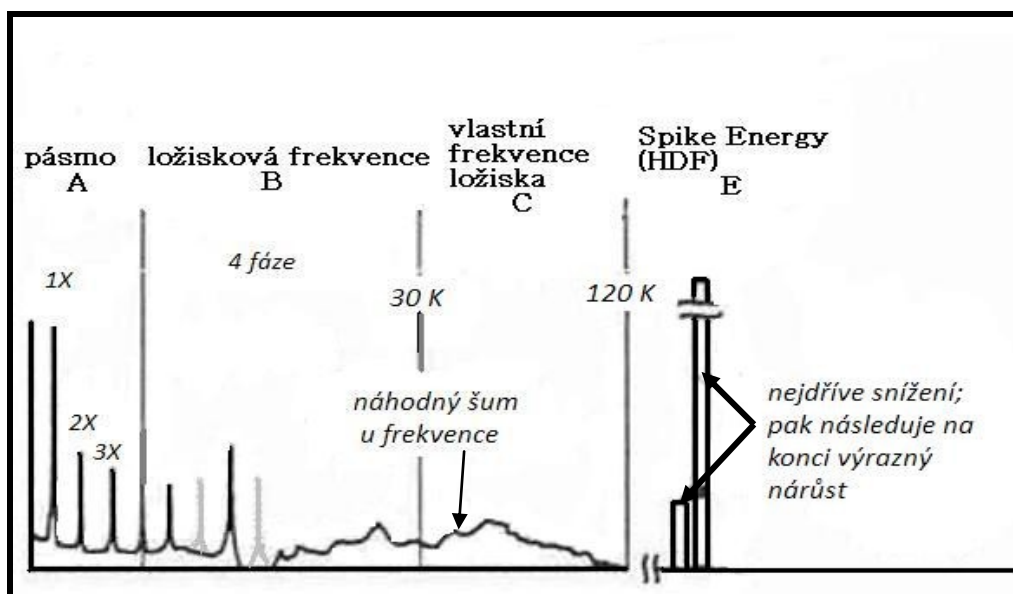
V této etapě je životnost ložiska natolik snížena, že je vhodná jeho výměna. Ve FFT spektru jsou ukázány základní frekvence závady a harmonické násobky vykazují i postranní pásma s otáčkovou frekvencí hřídele. Obzvlášť u vnitřního kroužku, kde vada ložiska rotuje přes zatíženou oblast ložiska, kdy se vibrace procházející touto oblastí zvyšují a signál je modulován, tudíž vytváří otáčková postranní pásma. Na rozdíl od vnějšího kroužku, kde hodnoty vibrací souvisí s konstantním zatížením ložiska, pokud ovšem nejsou ovlivněny nesouosostí, nevývahou či ohnutým hřídelem, kdy se opět tvoří otáčková postranní pásma.



Obr.16 Třetí etapa poškození valivého ložiska[4-vlastní úprava]

d) Čtvrtá etapa (obr.17)

Životnost ložiska může dosahovat až havarijního stavu. Je charakterizován ve spektrálním oboru rychlosti nebo zrychlení širokopásmovým šumem v oblasti frekvenci závad. Ve spektru obálky zrychlení jsou zaznamenány frekvenční komponenty závady v ložisku s vysokou amplitudou a také otáčková postranní pásma 1x a 2x okolo vnějšího kroužku, což je indikováno uvolnění a nebo se také může objevit hodnoty vykazující poškození klece.



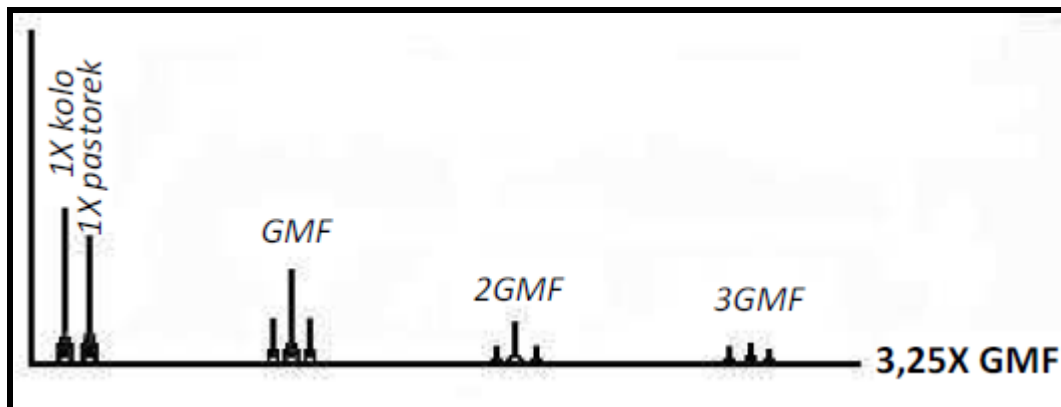
Obr.17 Čtvrtá etapa poškození valivého ložiska[4-vlastní úprava]

3.3 VIBRODIAGNOSTIKA OZUBENÝCH PŘEVODŮ

Hlavním nástrojem vibrodiagnostiky ozubených převodů je frekvenční analýza. Při odvalování valivých elementů ložisek vznikají na nerovnostech rázy určitých frekvencí. Při záběru ozubených kol vznikají izolované frekvenční složky přesahující tzv. pozadí, které tvoří šum s vyrovnanou výkonovou úrovní složek svého frekvenčního spektra, mající charakter bílého šumu.

Normální frekvenční spektrum (obr.18) obsahuje první, druhou a třetí harmonickou, otáčkové a zubové frekvence o malé amplitudě a nejsou buzeny žádné vlastní frekvence. Kolem zubové frekvence bývají i postranní pásma, jejichž velikost je dána velikostí

frekvence otáček hřídelů. Doporučuje se nastavení F_{\max} na hodnotu minimálně $3,25 \times$ GMF (zubová frekvence), je - li znám počet zubů. Není-li znám počet zubů, je potřeba nastavit F_{\max} na $200 \times$ otáčky pro každý hřídel.



Obr.18 Normální spektrum [4-vlastní úprava]

Při poškození ozubení jsou zaznamenávány parazitní harmonické zubové frekvence f_{HT} vznikající v důsledku výrobního procesu nebo vlivem nesprávného zacházení, je efektivní při detekování závad ne ozubeném kole či pastorku. Parazitní frekvence bývá obvykle menší než je 10 Hz , proto se může stát, že ji diagnostik přehlídne. Určuje se dle následujícího vztahu (4.9)

$$f_{HT} = \frac{f_z \cdot N_a}{z_{KOLA} \cdot z_{PASTORKU}} \quad [\text{Hz}], \quad (4.9)$$

Kde: f_{HT} ... parazitní zubová frekvence

f_z ... frekvence záběru zubu

N_a ... počet jedinečných fází sestavy pro danou kombinaci zubů

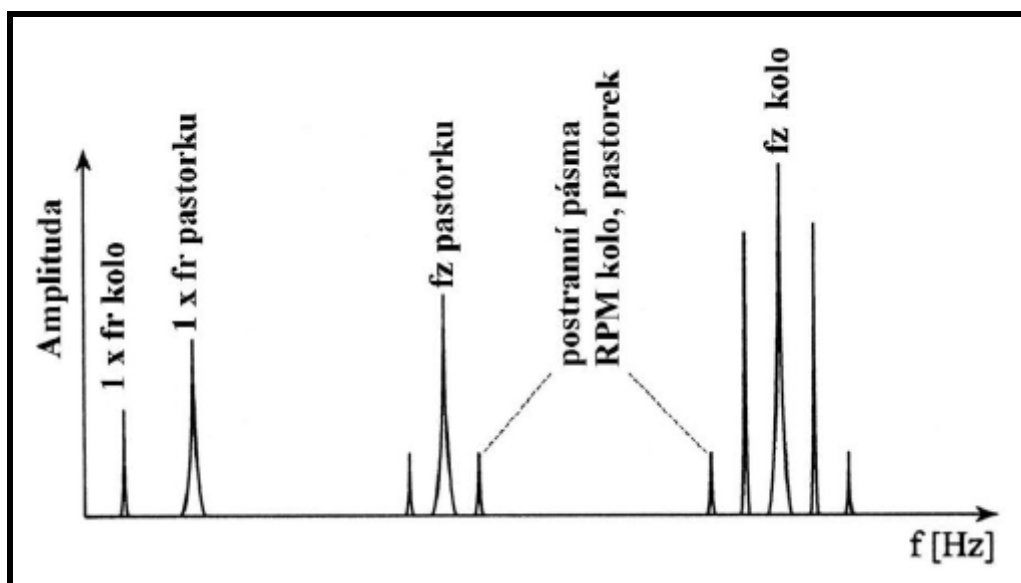
z_{KOLA} ... počet zubů kola

$z_{PASTORKU}$... počet zubů pastorku

Příčiny poškození ozubení:

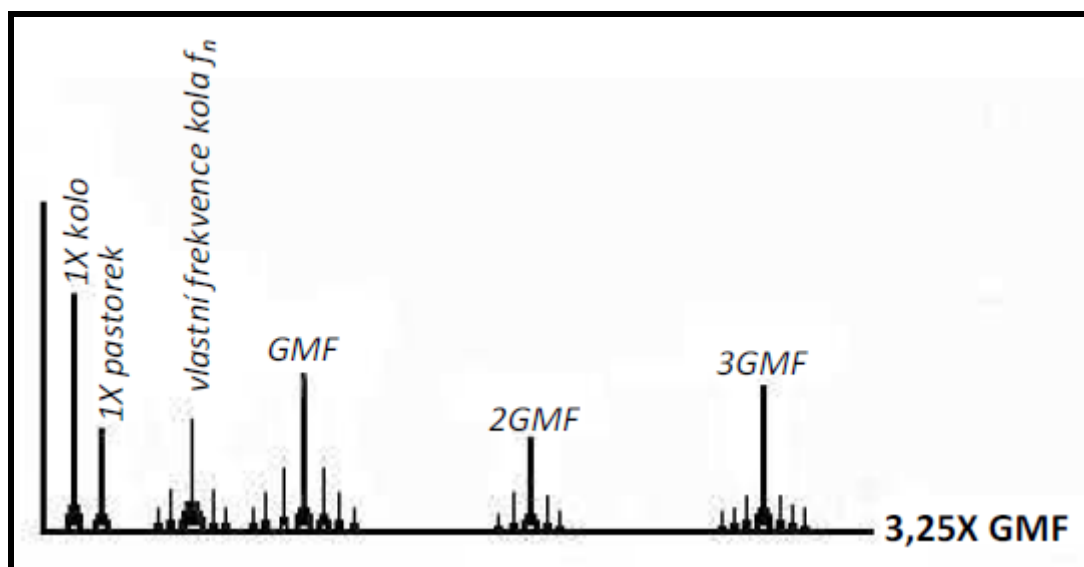
- Opotřebení zubů, excentricita a boční vůle (obr.19)

Opotřebení zubů a excentricita vznikají buzením vlastní frekvencí ozubeného kola f_z a vznikem postranních pásem okolo této frekvence. Obvykle se zvětšují postranní pásma kolem frekvence, aniž by se zvyšovala frekvence záběru zubů f_z .



Obr.19 Typické frekvenční spektrum ozubení měřené ve vertikálním směru [2]

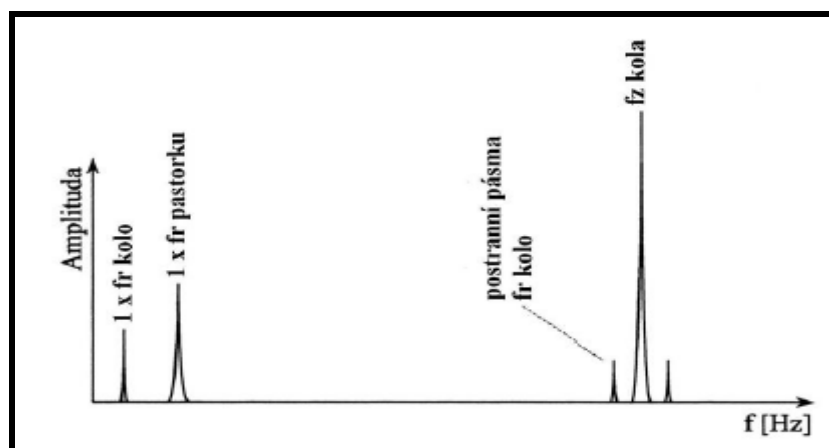
U excentricity je možné, že otáčková frekvence jednoho kola bude modulovat otáčkové frekvence kola druhého. Jsou zaznamenávány vysoké postranní pásma kolem harmonických násobků zubové frekvence GMF, což je možné hodnotit jako excentricita kola, nežádoucí vůle nebo nesouosost hřídele.



Obr.20 Excentricita kola a nežádoucí vůle [4-vlastní úprava]

Obvykle se také mohou zaznamenat velké amplitudy na zubové frekvenci $2X$ GMF nebo na $3X$ GMF, i v případě, že amplituda samotné zubové frekvence GMF je akceptovatelná (obr.20)

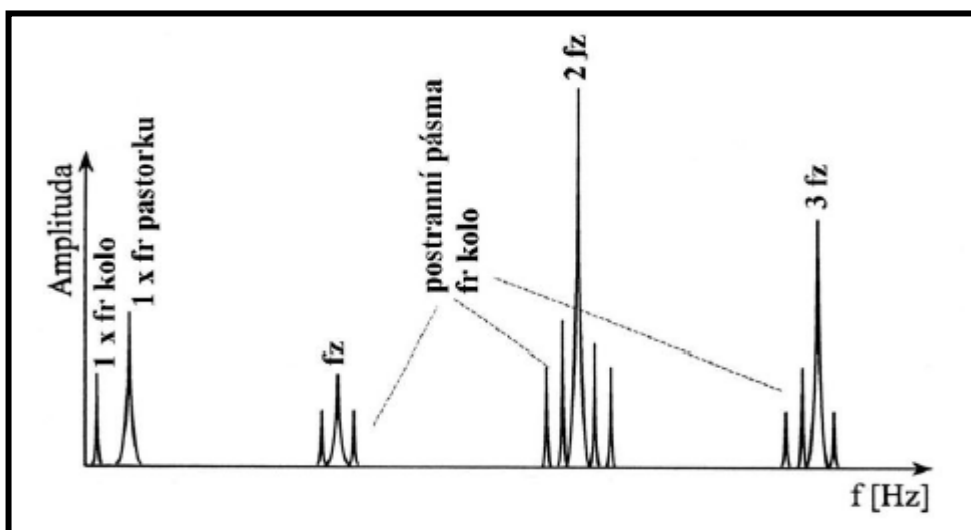
- Zatížení zubů (obr.21)



Obr.21 Typické frekvenční spektrum ozubení ve vertikálním směru při nadměrném zatížení ozubení kola [2]

Při nadměrném zatížení zubů se objeví vysoká amplituda na frekvenci záběru zubů f_z . Vzhledem k eliminaci skokových změn v trendech je potřeba provádět měření při stejném zatížení ozubení, nejlépe při maximálním provozním zatížení.

- Nesouosost kol (obr.22)

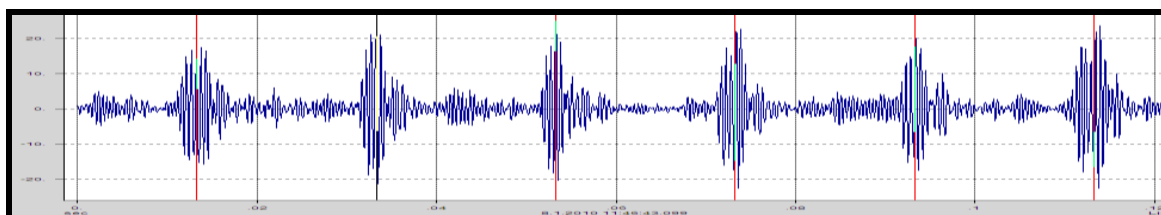


Obr.22 Typické frekvenční spektrum ozubení měřené ve vertikálním směru při nesouosost ozubených kol [2]

Typickým projevem nesouososti kol je vznik buzení o hodnotě dvojnásobně větší nebo vyšší násobku frekvence záběru zubů. V postranních pásmech násobků frekvence záběru zubů se objeví opět otáčková frekvence záběrů zubů a také dominantní druhá či třetí harmonická frekvence. Tudíž je vhodné, aby se při detekci nesouososti ozubených kol volil rozsah minimálně do trojnásobku frekvence záběru zubů.

- Prasklý, zlomený zub (obr.23)

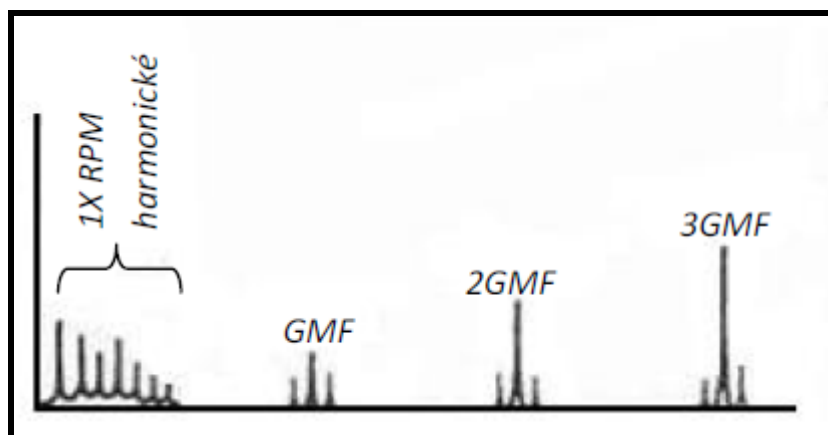
Obvykle je prasklý zub nebo zlomený zub generován vysokou amplitudou 1X otáčkové frekvence poškozeného kola, ale jen v časové vlně. Objevují se i další harmonické otáčkové frekvence poškozeného kola včetně postranních pásem. Nárazové špičky dosahují až 10X i 20X vyšší hodnotu než je amplituda 1X otáčky ve spektru FFT.



Obr.23 Prasklý, zlomený zub [7]

- Uvolněné uložení v ložiscích (obr.24)

Ložiska vykazující nadměrnou vůli, která nesou ozubená kola, mohou budít mnoho harmonických násobků otáčkových frekvencí, ale také vysokou amplitudovou odezvu na zubových frekvencích GMF, 2X GMF nebo 3X GMF, které jsou znázorněním mechanického uvolnění v nosných ložiskách ozubených kol a ne jeho příčinou. Tato uvolnění mohou být způsobena nadměrným opotřebením ložiska nebo nesprávným lícováním ložiska na čepu při jeho montáži.



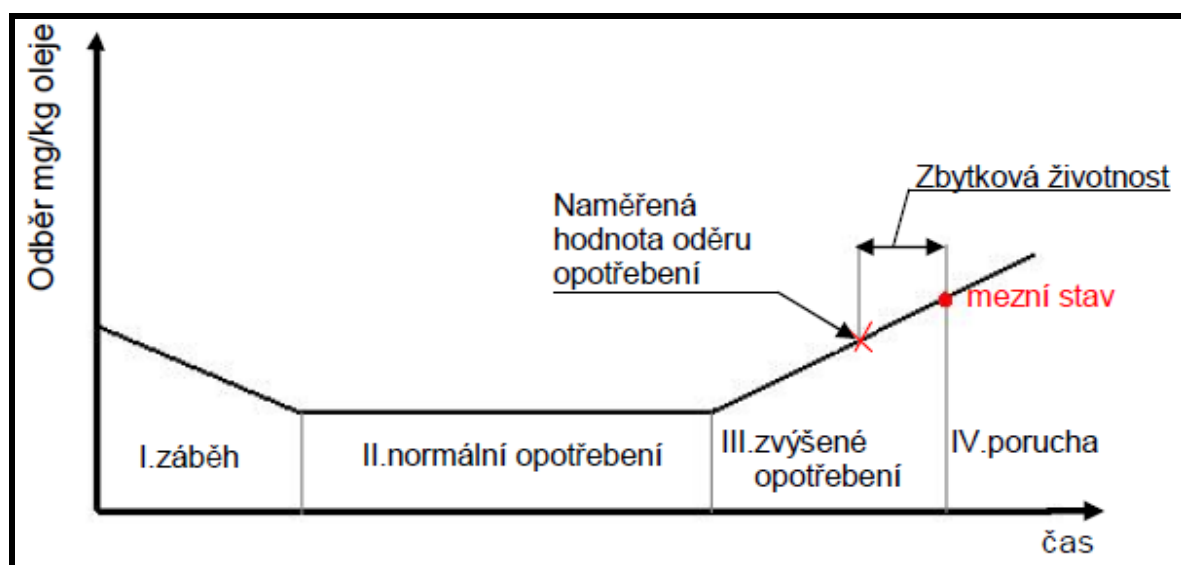
Obr.24 Uvolněné uložení v ložiscích [4-vlastní úprava]

4 TRIBODIAGNOSTIKA [5,6,7,11,13,14,15,16,17,27,28,29,30]

Tribodiagnostika jako bezdemontážní diagnostika nám slouží k informativnímu hodnocení kvality oleje na základě příslušných zkoušek. V důsledku postupného opotřebovávání mazaných třecích míst jsou zachytávány částice kovu cirkulujícím olejem, které v oleji zůstávají ve formě suspenze.

Pomocí zkoušek oleje lze stanovit parametry jako je viskozita, kyselost, bod vzplanutí, obsah nečistot, obsah vody atd., na jejichž základě je možné stanovit optimální intervaly výměny maziv.

K prognóze zbytkové životnosti (čas do nutné opravy) nám slouží tzn. Vanová křivka (obr.25), neboli závislost počtu a velikost otěrových částic v závislosti na čase.



Obr.25 Vanová křivka

4.1 PŘEVODOVÝ OLEJ

Převodový olej nám slouží k ochraně stykových ploch bráněním jejich bezprostředního styku. Mezi další úlohy převodového oleje je minimalizování opotřebení převodovky, dlouhodobá náplň, snadné řazení, nízká hlučnost, univerzálnost použití, antikorozní vlastnosti, nízké pěnivost, snášenlivost s těsnicími materiály, odvod nečistot a tepla, ale také stabilita vlastností za působení extrémních tlaků, při změnách teplot.

V oblasti použití dělíme oleje pro automobilové převodovky a zemědělské stroje a další skupinou jsou průmyslové převodové oleje, které dělíme z hlediska použití do skupin jako jsou oleje strojní, turbínové, průmyslové převodové oleje, kompresorové, hydraulické oleje a oleje pro chladicí kompresory. Dále se můžeme setkat s typy jako je jednoúčelový převodový olej, jenž slouží jen pro dané zařízení a s olejem univerzálním.

4.1.1 Výroba, vlastnosti a aditivace převodového oleje

Převodové oleje a průmyslové převodové oleje jsou převážně tvořeny z ropy a jejich složení je ze základového oleje a příslušných aditiv.

Nejzákladnějším z požadavků na převodový olej jsou vysoké výkonnostní vlastnosti, udržení teplotní stability, zabezpečení dlouhodobého užití, ochranu mazacích míst za odvodu nečistot a tepla.

V dnešním průmyslu se stále zvyšuje materiálový kontakt kov na kov nebo mezní mazání, kdy vznikají větší teploty a tlaky. Za trendu stálého zvyšování výkonu a rychlosti, je olej více zatěžován a jsou na něj kladeny vyšší nároky zejména na častější cirkulaci, tím lepší odvod tepla, zabránění pění oleje, rozpouštění nečistot a deemulgaci vody, zvýšení životnosti komponentů převodovky, a ochranu před extrémními tlaky a tím snižovat prostoje, maximalizovat produktivitu a snižovat náklady na údržbu.

Největším nepřítelem převodovek je voda, která se do převodovky může dostat zejména přes nádrž, jež zapříčiní vznik koroze a také snižuje výkonnost. Tudíž nejdůležitější vlastností oleje je také rychlá separace vody při nízkých i vysokých teplotách.

Jak jsem již zmínila, olej musí odolávat vlivům extrémních tlaků, což má zabránit zejména kontaktu kov-kov. Tuto vlastnost zabezpečuje EP přísada, která je na bázi síry či fosforu a zabezpečuje nám vazkost ke kovovým povrchům a k místům, kde se vyskytují extrémní tlaky.

4.1.2 Rozdělení převodového oleje

Minerální oleje

Minerální oleje jsou vyrobeny destilací ropy a dále jsou pak aditivovány. Minerální oleje rychleji degenerují za působení vlhkosti a kyslíku, mají větší sklon k tvorbě kalů působením vlhkosti.

Tento typ oleje je obzvláště používán u mechanických převodů pracujících dlouhodobě ve vysokém či rázovém zatížení. Mají dobrou odolnost proti stárnutí, termooxidační stabilitu, deemulgační vlastnosti a vysokou únosnost mazacího filmu.

Syntetické oleje

Syntetický olej je vyráběn složitější technologií za separací složek vhodných k mazání. Takto získaný olej je dále aditivován. Dochází k pomalejšímu opotřebování třecích ploch než u minerálního oleje v důsledku schopností vytvářet pevnější mazací film.

Převodové plně syntetické oleje se vyrábí na bázi polyalfaolefinové (PAO), jež jsou určeny pro uzavřené převodové systémy pracující v náročných provozních podmínkách. Tento olej lze mísit s minerálním olejem.

Převodové vysoce výkonové syntetické oleje vyráběny na bázi polyathelynglykolu (PAG) mají vysoký viskozitní index, nízký bod tuhnutí, dobrou odolnost proti stárnutí a termooxidační stabilitu. Využívají se zejména pro šnekové převody, ale také pro převodovky čelní, kuželové, planetové, které jsou velmi zatěžovány. Tento typ syntetického oleje nelze mísit s minerálními oleji, ani s oleji na bázi PAO.

4.1.3 Klasifikace a specifikace převodového oleje

Také převodový olej je členěn dle klasifikací, specifikací, firemními charakteristikami. Jedná se o členění podle viskozitní klasifikace a výkonnostní klasifikace, jež nám hodnotí kvalitu oleje.

Nejčastější charakteristiky průmyslových olejů je vyjadřována normami ISO a DIN. Jedná o normy ISO 3448, ISO 6743 a DIN 51 502

Viskozitní klasifikace jako jedna z nejdůležitějších vlastností oleje ovlivňuje tekutost oleje a vyjadřuje míru tření mazacích olejů. Změna viskozity vznikající při změnách teplot a tlaků je v provozu nežádoucí. Tuto vlastnost nám specifikuje viskozitní index, jež nám charakterizuje stabilitu viskozity oleje při těchto změnách. Čím vyšší viskozitní index, tím lze očekávat menší změnu viskozity oleje.

Výkonnostní klasifikace nám charakterizuje jak okamžité, tak i dlouhodobé vlastnosti oleje při různých provozních podmínkách.

A) Převodové oleje

➤ Viskozitní klasifikaci – specifikace SAE (Society of Automotive Engineers)

Specifikace SAE nám rozlišuje viskozitní třídy děleny na letní a zimní třídy jak lze vidět v tab.2

Kde *zimní třídy* označovány písmenem **W** a u převodových olejů se setkáváme s hodnotami *70W, 75W, 80W, 85W*. Popisuje vlastnosti oleje při nízkých teplotách, kdy čím nižší číslo máme, tím je olej tekutější.

Letní třídy jsou informací o viskozitě při provozní hodnotě, jejichž označení je čísly *80, 85, 90, 140, 250*. Čím vyšší hodnota, tím je olej hustší a klade lepší odpor při vzájemném pohybu třecích ploch.

Dělíme je taky na sezonní oleje neboli jednoúčelové (monograde) označovány např. SAE 80W a celoroční oleje nebo také vícerúčelové (multigrade) označovány např. SAE 75W-90

viskozitní třída SAE	Maximální teplota při 150 000 mPa.s (°C)	Kinematická viskozita při >100°C minimum (mm ² /s)	Kinematická viskozita při 100°C maximum (mm ² /s)
70W	-55	4,1	
75W	-40	4,1	
80W	-26	7,0	
85W	-12	11,0	
80		7,0	11,0
85		11,0	13,5
90		13,5	24,0
140		24,0	41,0
250		41,0	

Tab.2 viskozitní klasifikace SAE [29]
[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=pre_visko]

➤ Výkonová klasifikace – specifikace API (tab.3)

V dnešní době se používá GL-4 a GL-5, kdy ostatní značení je už zastaralá.

označení	Charakteristika
GL-1	<i>neaditivované převodové oleje pro manuálně řazené převodovky a nízké namáhání, minerální olej</i>
GL-2	<i>neaditivované převodové oleje pro manuálně řazené převodovky a střední namáhání, s nízkým obsahem EP (extremní tlak) přísad pro šnekové převody</i>
GL-3	<i>nízkoaditivované oleje pro manuálně řazené převodovky, pro středně těžké zatížení a soustrojí s kuželovými koly, olej s nízkým EP</i>
GL-4	<i>vysceaditivované převodové oleje určené zejména pro mazání manuálně řazených převodovek, náprav s hypoidními převody s malým přesazením os mobilní techniky, se středním obsahem EP, úroveň kvality MIL-L-2105,</i>
GL-5	<i>vysceaditivované převodové oleje pro nejtěžší podmínky provozu, pro hypoidní převody s velkým přesazením os a pro převody s proměnným zatížením, vysoký obsah EP, kvalita MIL-L-2105D</i>
GL-6	<i>převodové oleje pro hypoidní převody pracující v extrémních podmínkách (téměř nepoužíváno)</i>
MT-1	<i>Pro nesynchronizované manuální převodovky v režimu vysokého zatížení. Mazivo obsahuje aditiva pro extrémně vysoký tlak a pro zvýšení teplotní stability</i>

Tab.3 specifikace API [30]
[http://oleje.cz/index.php?left=historie_api&page=pre_vykon]

Mezi další výkonnostní charakteristiku převodových olejů lze zmínit firemní a normy výrobců jako je např. MIL-L, což je označení normy americké armády.

Další normou je také ZF. Jedná se o nejznámějšího výrobce převodovek, který na základě výkonnostní charakteristiky API a MIL označuje 15 kategorií s označením ZF TE – ML 01 až 15 s podskupinami a), b), c), d).

B) Průmyslové převodové oleje

➤ Viskozitní klasifikaci podle normy ISO 3448

Jednou z klasifikací průmyslových olejů je *viskozitní charakteristika*, podle níž jsou oleje rozděleny dle normy ISO 3448 (viz. tab. 4)

Kinematická viskozita u převodových olejů je hodnocena při teplotě 40°C.

<i>Viskozitní třída</i>	<i>Kinematická viskozita při 40°C [mm².s⁻¹]</i>	
	<i>Střední viskozita</i>	<i>Viskozitní rozpětí</i>
ISO VG 2	2,2	1,98 - 2,42
ISO VG 3	3,2	2,88 - 3,52
ISO VG 5	4,8	4,14 - 5,06
ISO VG 7	6,8	6,12 - 7,48
ISO VG 10	10	9,0 - 11,0
ISO VG 15	15	13,5 - 16,5
ISO VG 22	22	19,8 - 24,2
ISO VG 32	32	28,8 - 35,2
ISO VG 46	46	41,4 - 50,6
ISO VG 68	68	61,2 - 74,8
ISO VG 100	100	90 - 110
ISO VG 150	150	135 - 165
ISO VG 220	220	198 - 242
ISO VG 320	320	288 - 352
ISO VG 460	460	414 - 506
ISO VG 680	680	612 - 748
ISO VG 1000	1000	900 - 1100
ISO VG 1500	1500	1350 - 1650

Tab.4 viskozitní klasifikace podle normy ISO 3448 [27]
[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=prum_visko]

➤ *Klasifikace maziv, průmyslových olejů a příbuzných výrobků podle ISO 6743*

Ve všeobecném znění normy ISO 6743-99 jsou průmyslové oleje obecně označovány písmenem „L“ a rozděleny do 15 skupin podle použití u výrobků. Jsou označovány dále symbolem, který se skládá ze skupiny písmen, jež tvoří kód (např. ISO – L – AN 46)

Klasifikace průmyslových olejů podle normy ISO 6743 (tab.5):

Norma - část	určení	Klasifikace Skupina podle ISO 6743	Klasifikace Skupina podle DIN 51 502
ISO 6743 - 1	<i>Ztrátové mazací systémy</i>	<i>A</i>	<i>AN, B</i>
ISO 6743 - 2	<i>Vřetena, ložiska, přídavné spojky</i>	<i>F</i>	<i>C</i>
ISO 6743 - 3	<i>Kompresory, vývěvy</i>	<i>D</i>	<i>V, K</i>
ISO 6743 - 4	<i>Hydraulické systémy</i>	<i>H</i>	<i>H, HV, HF, ATF</i>
ISO 6743 - 5	<i>turbíny</i>	<i>T</i>	<i>TD</i>
ISO 6743 - 6	<i>Ozubené převody</i>	<i>C</i>	<i>C</i>
ISO 6743 - 7	<i>Obrábění kovů</i>	<i>M</i>	<i>S, W</i>
ISO 6743 - 8	<i>Dočasná ochrana proti korozi</i>	<i>R</i>	<i>R</i>
ISO 6743 - 9	<i>Plastická maziva</i>	<i>X</i>	<i>K, G, OG, M</i>
ISO 6743 - 10	<i>Ostatní aplikace</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>
ISO 6743 - 11	<i>Pneumatické nástroje</i>	<i>P</i>	<i>D</i>
ISO 6743 - 12	<i>Kapaliny pro přenos tepla</i>	<i>Q</i>	<i>Q</i>
ISO 6743 - 13	<i>Kluzná vedení</i>	<i>G</i>	<i>CG</i>
ISO 6743 - 14	<i>Tepelné zpracování</i>	<i>U</i>	<i>L</i>
ISO 6743 - 15	<i>Spalovací motory</i>	<i>E</i>	<i>HD</i>

Tab.5 Klasifikace podle normy ISO 6743 [28]

[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=prum_vykon]

Další písmena v tab.6 upřesňují zušlechťující přísady olej nebo blíže specifikují oblast použití:

Vedlejší identifikační písmeno	Druh maziva
D	<i>Mazací oleje, které mají detergentní přísadu, např. hydraulické oleje HLPD</i>
E	<i>Oleje, které se používají ve směsi s vodou (emulgační) např. emulgační olej SE</i>
F	<i>Mazací prostředky, které obsahují tuhé mazivo (grafit, molybdenisulfid aj.), např. olej CLPF</i>
L	<i>Maziva zušlechtěná přísadou proti korozi nebo přísadou antioxidační, např. CL 100</i>
M	<i>Emulgační kapaliny na bázi ropného oleje, např. SEM</i>
S	<i>Emulgační kapaliny na syntetické bázi, např. SES</i>
P	<i>Maziva s vysokotlakými, protiotěrovými a protizadíracími přísadami, např. CLP 100</i>
V	<i>Maziva, která obsahují rozpouštědlo, např. olej BB-V</i>

Tab.6 Doplnující identifikace [28]

[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=prum_vykon]

Porovnání viskozitních tříd ČSN 65 6601 (tab.7)

ISO-VG průmyslové oleje	Viskozita při 40°C [mm ² /s]	SAE převodové oleje
2	1,98 - 2,42	-
3	2,88 - 3,52	
5	4,14 - 5,06	
7	6,12 - 7,48	
10	9,0 - 11,0	
15	13,5 - 16,5	70W 75W
22	19,8 - 24,2	
32	28,8 - 35,2	
46	41,4 - 50,6	80W
68	61,2 - 74,8	85W
100	90 - 110	
150	135 - 165	90W
220	198 - 242	
320	288 - 352	140W
460	414 - 506	
680	612 - 748	250
1000	900 - 1100	
1500	1351-1650	

Tab.7 Porovnání viskozitních tříd [27]

[http://oleje.cz/index.php?left=main&page=prum_visko]

4.1.4 Výměna oleje

Výměna převodového oleje je závislá na viskozitě, která nám zabezpečuje vytvoření mazacího filmu zabraňující vzniku tření mezi stykovými plochami a tím tak snižovat opotřebení komponentů v převodovce

Olej je potřeba vyměnit když:

- viskozita a viskozitní index se zcela změnily (o 20%)
- nárůst čísla kyselostí (max. nárůst o 0,2 mg KOH/g)
- je nadměrně znečištěn
- dochází k nadměrnému opotřebení kovových stykových ploch
- při znehodnocení olejových přísad
- větší objem vody (víc jak 1000 mg/kg u převodovek)
- při poklesu bodu vzplanutí (pod 180°C)

Ke zjištění těchto parametrů je zapotřebí provést odběr vzorku a analýzu.

Výměna oleje je stanovena jak výrobcem oleje nebo také je stanovena výrobcem převodového systému. Znehodnocení oleje je závislá na prostředí, ve kterém se dané zařízení nachází a také na zatížení stroje.

Pro převodovku vysokorychlostní, zatíženou je udáváno 500 motohodin nebo jednou za měsíc, pro převodovku nízkorychlostní, zatíženou je dáno 1000 motohodin nebo také jednou za měsíc.(dále viz.tab.8)

kov		Možný zdroj	PPM/interval 500h			
			normální	Lehce zvýšený	zvýšený	vysoký
Železo	<i>Fe</i>	<i>Převody, ložiska, distanční tělíska</i>	<i>0-60</i>	<i>61-100</i>	<i>101-180</i>	<i>>180</i>
Chrom	<i>Cr</i>	<i>Ložiska</i>	<i>0-2</i>	<i>3-6</i>	<i>7-10</i>	<i>>10</i>
Olovo	<i>Pb</i>	<i>Přítlačné podložky, třecí disky</i>	<i>0-8</i>	<i>9-15</i>	<i>16-20</i>	<i>>20</i>
Měď	<i>Cu</i>	<i>Přítlačné podložky, třecí disky</i>	<i>0-70</i>	<i>171-120</i>	<i>121-200</i>	<i>>200</i>
Cín	<i>Sn</i>	<i>Přítlačné podložky</i>	<i>0-6</i>	<i>7-12</i>	<i>13-18</i>	<i>>18</i>
Hliník	<i>Al</i>	<i>Stator, oběžné kolo konvertoru pouzdro</i>	<i>0-4</i>	<i>5-10</i>	<i>11-15</i>	<i>>15</i>
Křemík	<i>Si</i>	<i>Nečistoty, protipěniče</i>	<i>0-20</i>	<i>21-30</i>	<i>31-40</i>	<i>>40</i>
sodík	<i>Na</i>	<i>Sůl, možné přísady</i>	<i>0-30</i>	<i>31-50</i>	<i>51-80</i>	<i>>80</i>

Tab.8 Hodnoty prvků pro výměnu převodového oleje [7]

5 ANALÝZA OBECNÉHO NÁVRHU VIBRODIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU [2,3,11,21,22,25,26]

5.1 Volba snímače

5.2 Určení měřících míst

5.3 Způsob uchycení snímače

5.4 Volba měřících směru

5.5 Volba časového okna a frekvenční rozsah měření

5.6 Určení měřené veličiny

5.7 Určení měřicího přístroje a způsobu monitorování

ad 5.1 Volba snímače

S ohledem na mechanické kmitání by měl odpovídat výstupní signál, na jehož základě rozdělujeme dva základní snímače k monitorování vibrací:

- *Seismická zařízení* – montují se na konstrukci stroje a jejich výstup je mírou absolutních vibrací konstrukce
- *Snímače relativní výchylky* – měří vibrační výchylku a střední polohu mezi rotujícími a nerotujícími částmi

Dále rozlišujeme, zda měříme absolutní či relativní vibrace, kde absolutní vibrace jsou vztahovány k pevnému fixnímu bodu a relativní vibrace se vyhodnocují vzhledem ke zvolenému bodu tj. k bodu, který může být v pohybu.

Na základě tohoto rozdělení vibrací, dělíme také snímače :

- *Absolutní snímače vibrací*

Měří veličinu mechanického kmitání vzhledem k vlastní seismické soustavě a je využíván tam, kde není možno určit vhodný relativní pevný bod k upevnění snímače (např. velké motory, ložiskové skříně apod.)

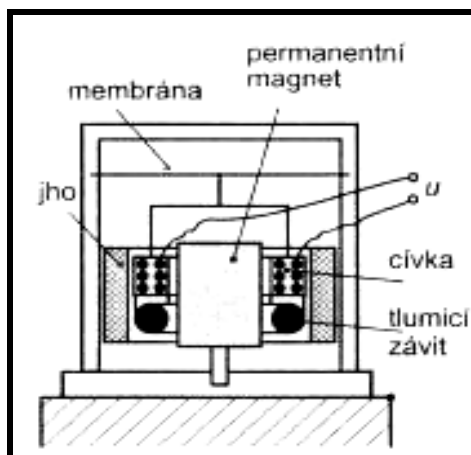
- *Relativní snímače vibrací*

Je používán u hodnocení vibračního pohybu jedné části stroje vůči druhé (např. hřídel vůči víku ložiska). Jako relativní snímače se používají bezdotykové snímače.

V oblasti vibrodiagnostiky jsou nejvíce používány tři typy snímačů, jež jsou dle ČSN ISO 13373-1 v závislosti dynamického rozsahu na frekvenci používány

- ❖ *Snímače rychlosti*

Jedná se o seismické zařízení generující napěťový signál úměrný mechanické vibrační rychlosti tělesa. Obvykle se tyto snímače montují na nerotující konstrukci stroje. Jedním z nevyužívanějších typů snímače je elektrodynamický snímač (obr.26) rychlosti, mající uvnitř cívku, která vlivem vibrací kmitá v poli permanentního magnetu.



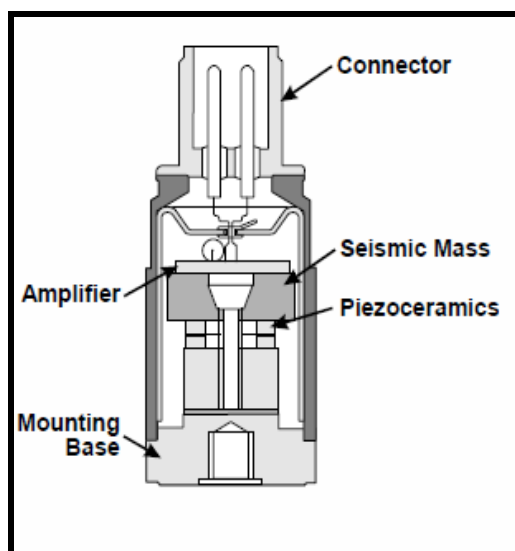
Obr.26 Elektrodynamický snímač rychlosti [3]

❖ *Akcelerometry*

Jsou to jedny z nejrozšířenějších seismických snímačů, které na výstupu mohou zpracovat signál na libovolnou veličinu – zrychlení, rychlost či výchylku vibrací. Generují výstupní signál úměrný mechanickému vibračnímu zrychlení a montují se nejčastěji na nerotující konstrukci stroje. Nejčastěji se používají u malých objektů, v prostředí o vysokých teplotách či silných magnetických polí.

Typy snímačů:

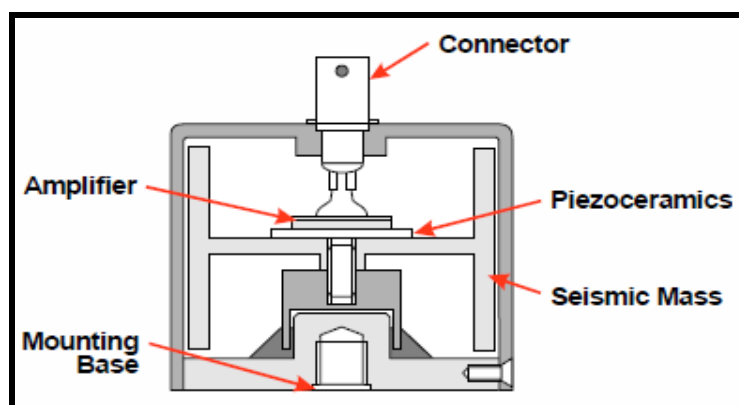
a) Tlakový (obr.27)



Obr.27 tlakový snímač [26]

[http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostika/VIBDI_2_akcelerometry.pdf]

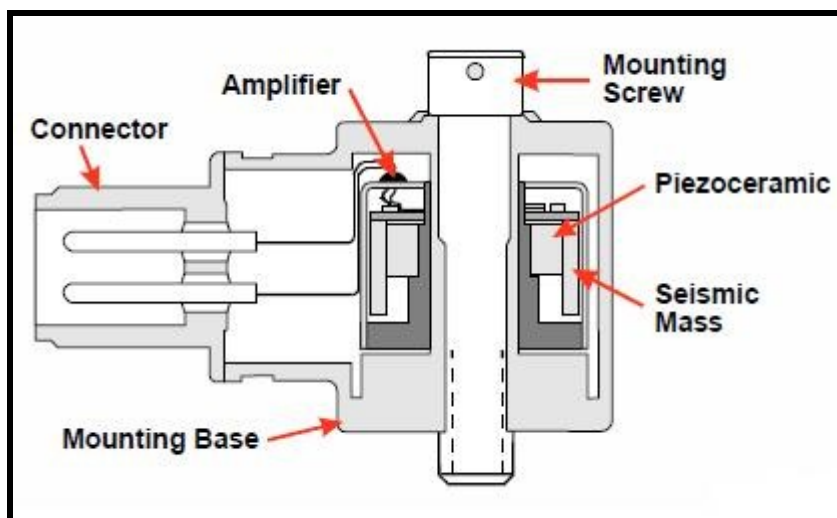
b) Ohybový (obr.28)



Obr.28 Ohybový snímač [26]

[http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostika/VIBDI_2_akcelerometry.pdf]

c) Smykový (obr.29)



Obr.29 Smykový snímač [26]

[http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostika/VIBDI_2_akcelerometry.pdf]

❖ *Bezdotykové sondy*

Snímač, využívající se u velkých rotačních strojů, turbínových strojů, jehož výstup je přímo úměrný relativní výchylce vibrací mezi rotujícími a nerotujícími prvky stroje pracuje na principu vířivých proudů. Cívkou prochází vysokofrekvenční střídavý proud, který generuje vysokofrekvenční magnetické pole. Vysílá střídavou složku pro vibrační pohyb a stejnosměrnou pro polohu. Tímto snímačem můžeme např. zkontrolovat vibrační výchylku rotujícího hřídele vůči stacionárnímu ložisku či skříni stroje.

Můžeme se také setkat s *duálními snímači*, které měří jak absolutní, tak relativní vibrace hřídele, čili je kombinací snímače na vířivé proudy a seismického snímače.

ad 5.2 Určení měřících míst

Umístění snímačů závisí na daném objektu a na diagnostických parametrech, které se mají měřit. Zejména se umísťují v blízkosti ložisek či na ložiscích, kdy hlavní osa snímače by měla směřovat na osu maximálního zatížení, nebo by měla být umístěna v oblasti zatížení. Dále to mohou být místa, ve kterých předpokládáme maximální hodnoty vibrací tam, kde je malá vůle mezi stojící a rotující částí nebo tam, kde se předpokládá

včasná poškození opotřebením. Snímače jsou doporučovány umístit na ložiscích nebo blízko nich, cesta šíření signálu by měla být co nejkratší bez přerušení či jakéhokoliv přechodu materiálu.

Zásady pro volbu měřicího místa (dále určuje norma ČSN ISO 13373-1)

- na nerotujících částech jako je ložiskový domek, ložiskový stojan
- orientace a označení snímačů musí být jednoznačné z důvodu opakování měření
- měříme za provozních podmínek, v případě, že se jedná o zařízení s proměnlivými otáčkami, měříme za mezních podmínek

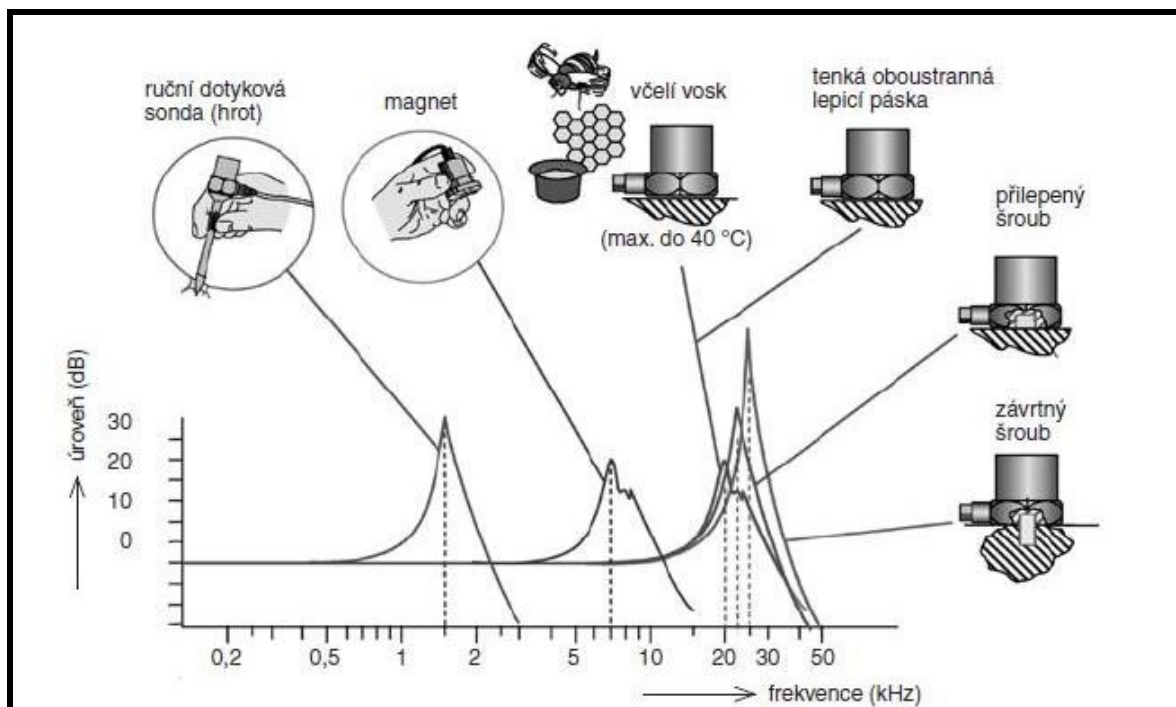
ad 5.3 Způsob uchycení snímače (obr.30)

Rozhodnutí o uchycení snímače se zabývá norma ČSN ISO 5348.

Snímač uchycujeme pomocí:

- Pevného šroubového spoje
- Izolovaného šroubového spoje
- Přilepení tuhým lepidlem
- Přilepením měkkým epoxidem
- Připevněním permanentním magnetem
- Ruční sonda se snímačem

U převodovek vzhledem k celkovému zatížení a vznikajícím rázům je upřednostňováno uchycení snímačů pomocí šroubového spojení, aby nedocházelo ke zkreslení měřeného signálu.

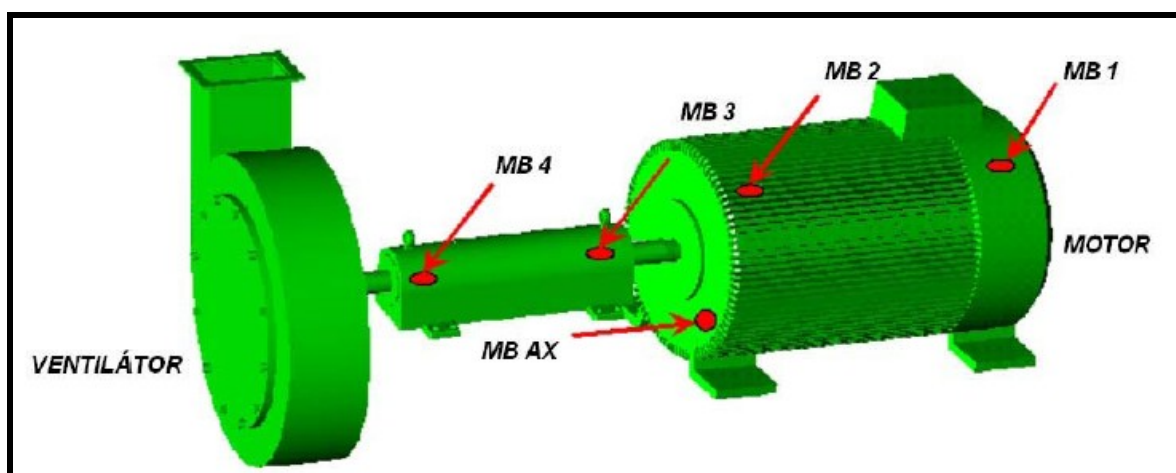


Obr.30 Příklady uchycení snímačů [22]

[<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40375.pdf>]

ad 5.4 Volba měřícího směru

Volba měřícího směru a měřících bodů je stanovena od hnací části strojního zařízení po hnanou, tak jak je uvedeno na obr.31. Kdy volba měřících míst musí být při každém měření stejná i za stejných podmínek, jako předcházející měření.



Obr.31 Volba měřícího směru [21]

[http://www.adash.cz/doc/a4900/a4900_v3_man_cz.pdf]

Provádíme ve třech směrech:

1. Axiální (A)
2. Vertikální (V)
3. Horizontální (H)

Největší vibrace můžeme předpokládat v horizontálním směru, neboť v této rovině je stroj nejpoddanější. V oblasti vertikální vyplývají vibrace v důsledku tuhosti konstrukce. V axiálním směru se můžeme setkat s vibracemi tehdy, projeví-li se nesouosost a ohnutí hřídele.

ad 5.5 Volba časového okna a frekvenční rozsah měření

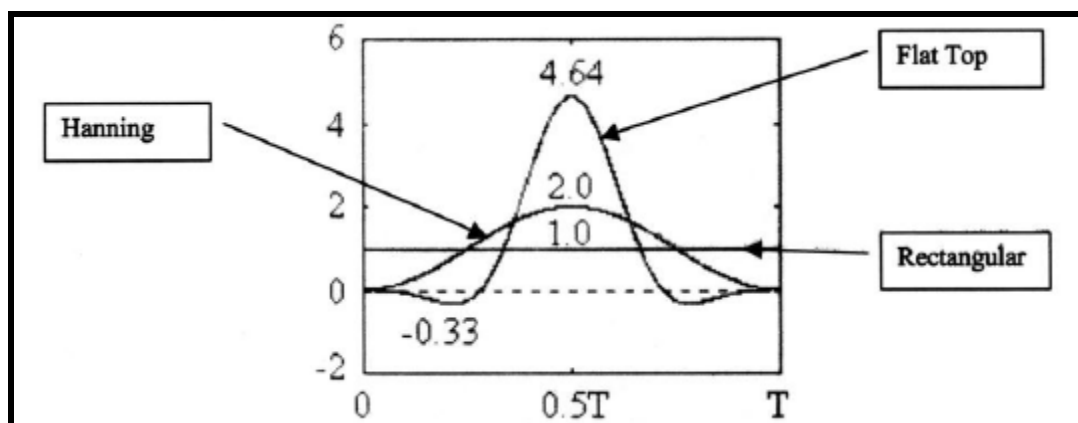
Ve frekvenčním spektru se nám zobrazí signál v souřadnicích amplituda – frekvence a s časovým průběhem jsou z hlediska přenášené energie rovnocenné.

Periodický pracovní cyklus znázorněn sinusovým signálem o určité amplitudě a počáteční fázi související s budícími frekvencemi.

Vzorek uložený v paměti analyzátoru tvoří nekonečnou smyčku, což je podmínkou proto, aby snímání signálu začalo a končilo ve stejném bodě. Ten je pak matematicky zpracován a upraven do požadovaného tvaru. K tomu nám slouží časová okna, která upravují hodnoty časového průběhu naměřeného souboru na začátku a na konci a ovlivňují nám přesnost analýzy. Časová okna se volí před začátkem měření.

Nejpoužívanějšími časovými okny jsou, jejichž časový průběh je zobrazen na obr.32

- Flat Top
- Hanning
- Rectangular



Obr.32 časová okna [2]

➤ Flat Top

U tohoto okna můžeme vidět dle obr.32, že signál je plynulým přechodem z nuly na začátku a na konci záznamu. Větší váha signálu je uprostřed záznamem, zatímco na začátku a na konci záznamu je váha nízká až záporná. Využívá se pro měření, u nichž zjišťujeme přesnou amplitudu.

➤ Hanning

V tomto okně je také zaznamenán plynulý přechod z nuly, váha signálu je také uprostřed okna, stejně jako u Flat Top okna.

Okno Hanning rovněž využíváme v případech, kdy není známa ani amplituda, ani frekvence signálu, tudíž nám slouží ke zjištění těchto parametrů.

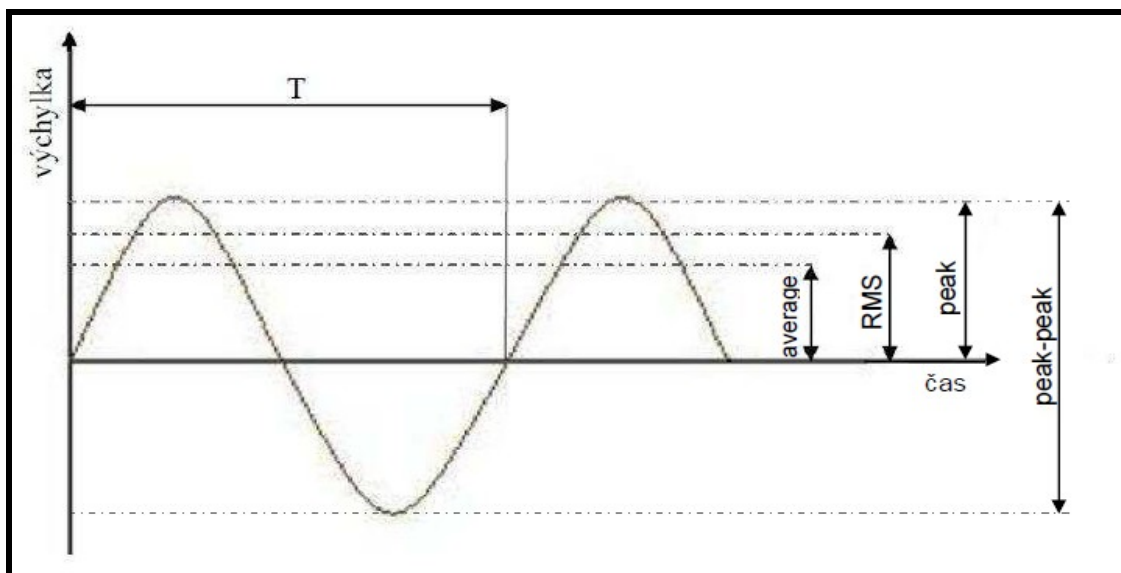
➤ Rectangular

V tomto okně je zaznamenáván signál jako skoková změna. V případě, že spektrum obsahuje složky základní frekvence, jež odpovídá frekvenční vzdálenosti mezi složkami, využíváme okno Rectangular.

Frekvenční rozsah je doporučován tak, aby pokrýval 0,2 násobek nejnižší otáčkové frekvence do 3,5 násobku nejvyšší sledované frekvence buzená, a aby nepřekročil hodnotu 10 kHz. Nejčastěji se volí rozsah 0 – 1000 Hz.

ad 5.6 Určení měřené veličiny (obr.33)

Měření vibrací amplitudy sinusového signálu se vyjadřuje pomocí:



Obr.33 příklad harmonického kmitání

Legenda k obr.33: Špička, maximální hodnota (peak); Špička-špička (peak-to-peak);
Průměrná hodnota (average); Efektivní hodnota (RMS)

ad 5.7 Určení měřicího přístroje a způsobu monitorování

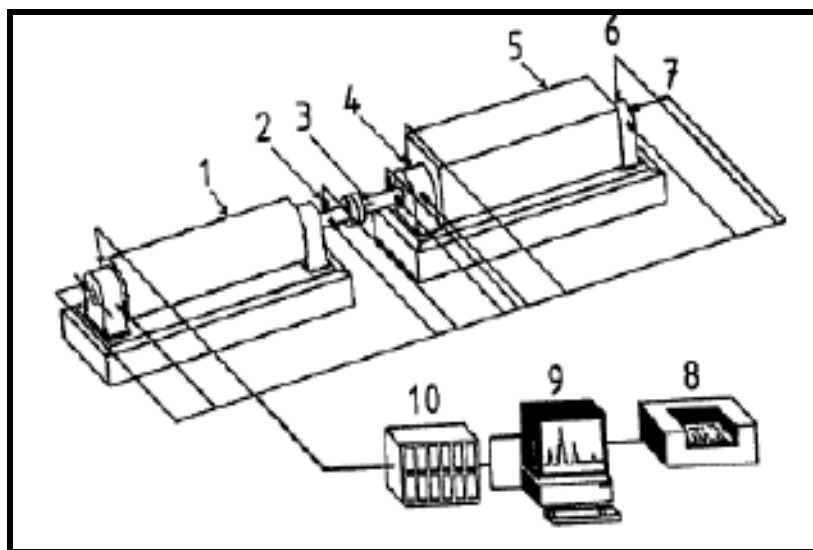
Základním účelem monitorování, kterou se zabývá norma ISO 13 373-1, je objektivní hodnocení technického stavu objektu, určení prediktivní údržby z naměřených dat na daném objektu, zvýšení zabezpečení ochrany, včasné zjištění problémů, prodloužení životnosti zařízení. Kde monitorování je samo o sobě sběr dat, jež jsou porovnávána za určité období a na jejichž základě lze hodnotit dynamické chování, které mohou být způsobeny:

- Změnami ve vyvážení a ustavení
- Opotřebením ložisek
- Závadami ozubených převodů
- Mechanickým uvolněním
- Trhlinami v důležitých komponentech, apod

Z pohledu způsobu monitorování vibrací je potřeba se rozhodnout, zda zvolíme:

❖ ON-LINE měření (obr.34)

- Měření je zabezpečeno pomocí monitorovacích a zabezpečovacích systémů za nepřetržitého sledování stavu strojního zařízení
- Možnost okamžitého vyhodnocení provozního stavu strojního zařízení
- lze použít jako bezpečnostní monitorování strojů s možností odstavení zařízení při překročení nastavené poplachové úrovně.



Obr.34 on-line monitorování [25]

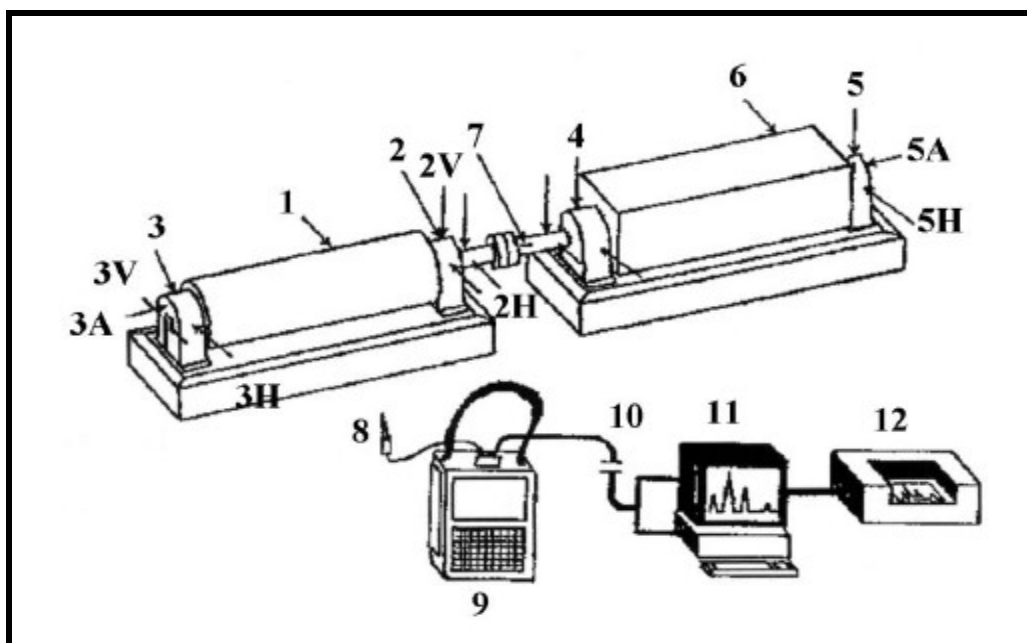
[http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostika/VIBDI_7_monitorování.pdf]

Legenda obr.34: 1- hnací stroj, 2-sondy na výchylku hřídele, 3- fázová reference, 4- snímače na stacionární konstrukci ložisek, 5- poháněný výrobní stroj, 6-axiální, 7- axiální, 8- tiskárna, 9- počítač s datovou pamětí, 10- zesilovač pro úpravu signálu

❖ OFF-LINE měření (obr.35)

- Za použití přenosných vibrometrů, vibrometrů s pamětí, datakolektorů a analyzátorů
- Jedná se o periodické měření
- Periodické měření je pravidelně se opakující měření s cílem získání informace provozním stavu sledovaného objektu, je také vhodným nástrojem prediktivní údržby

- Jednorázové měření je měření, kterým zjistíme mechanický stav měřeného objektu pro stanovení základních příčin vibrací



Obr.35 Ukázka přenosného monitorovacího systému [2]

Legenda obr.35: 1- hnací stroj, 2-datové body, 3- fázová reference, 4- poháněný stroj, 5- radiální, 6-axiální, 7- tiskárna, 8- počítač s datovou pamětí, 9- připojení počítače, 10- přenosný sběrač dat, 11-snímač

Zásady pro monitorování:

Vibrace jsou vyhodnocovány pomocí lineární a úhlové výchylky nebo rychlosti a zrychlení. Jedná-li se o měření relativní polohy a pohybu rotujících částí, je doporučováno měřit výchylku. Pro měření valivých ložisek, převodovek je doporučováno měření hodnot zrychlení, neboť jsou vykazovány závady, jež se vyskytují na při velkých frekvencích.

Rozsah velikosti měření se volí na základě předchozích měření nebo dle kritérií pro hodnocení daného monitorovaného zařízení. Měřicí pásmo by mělo pokrývat od nejnižší do nejvyšší očekávané amplitudy.

Frekvenční rozsah je volen tak, aby zahrnoval nejen otáčkové frekvence hřídele, její harmonické násobky a frekvence, které jsou způsobeny ložisky, ozubenými převody apod.

6 IDEOVĚ TECHNICKÝ NÁVRH ŘEŠENÍ A APLIKACE NA PŘEVODOVKU MOTOX [5,6,7,16,17,18,19,20,21,23,24]

6.1 IDEOVĚ TECHNICKÝ NÁVRH ŘEŠENÍ VČETNĚ METODICKÉHO POSTUPU IMPLEMENTACE

Z hlediska objektivního hodnocení technického stavu převodovky je vhodná aplikace multiparametrického přístupu a to jak za použití alternativních diagnostických metod či metody z oblasti vibrodiagnostiky nebo kombinace metod technické diagnostiky.

V oblasti vibrodiagnostiky jsem se zmínila o několika metodách měření. K hodnocení provozuschopnosti převodovky se také používá keprální analýza, což je oblast frekvenční analýzy, se kterou se můžeme setkat u měření vícestupňových převodovek. Keprální analýza je metoda hledající pravidelně opakující se rozdíly mezi sousedními frekvenčními čarami, na kterých jsou namodulována postranní pásma a to ve frekvenčním spektru, neboli zobrazuje frekvenční spektra v oblasti modulace postranního pásma. Používá se zejména při hodnocení technického stavu ozubených převodu, ale také při poškození valivých ložisek.

Další metoda bezdemontážní technické diagnostiky, jež lze aplikovat je termodiagnostika, zejména při zvyšující se teplotě strojního zařízení. Z oblasti nedestruktivní technické diagnostiky by byla možnost použít metodu optické defektoskopie za použití endoskopu.

Ačkoli jsou tyto metody, kterými jsme schopni diagnostikovat technický stav převodovky, s ohledem na provozní podmínky měřeného objektu a aktuálního technického stavu, je potřeba volit tu metodu, jež nám bude největším přínosem. Z tohoto pohledu byla volena oblast vibrodiagnostiky a tribodiagnostiky. Z oblasti vibrodiagnostiky byla aplikována frekvenční analýza a metoda Spike Energy pro měření zrychlení. Z metod tribodiagnostiky byly voleny vhodné metody pro kvalitativní zhodnocení převodového oleje.

6.2 APLIKACE NÁVRHU NA PŘEVODOVKU MOTOX

V rámci firmy ESOS a.s. bylo provedeno měření k posouzení objektivního stavu převodovky MOTOX.

6.2.1 Technické parametry převodovky

výkon elektromotoru	31 kW
otáčky - $\text{RPM}_{\text{MOTOR}}$	$2980 \text{ min}^{-1} = 49,8 \text{ Hz}$
převodovka $\text{RPM}_{\text{výstup}}$	$220 \text{ min}^{-1} = 3,66 \text{ Hz}$
celkový převodový poměr i_c	13,48

1.stupeň - převodový poměr i_1 , RPM	2,368 ; 20,83 Hz
počet zubů z_1	19
počet zubů z_2	45
vložený převod – převodový poměr i_2 , RPM	1,833; 11,34 Hz
počet zubů z_3	18
počet zubů z_4	33
koncový převod – převodový poměr i_3 , RPM	3,105; 3,66 Hz
počet zubů z_5	19
počet zubů z_6	59
zubová frekvence f_1	946 Hz
zubová frekvence f_2	379 Hz – ze spektra
zubová frekvence f_3	215 Hz

ložiska uložení vloženého hřídele (měřicí bod 3)	303 11 A
ložiska uložení mezihřídele (měřicí bod 4 a 5)	303 10 A
ložiska uložení výstupní hřídele (měřicí bod 6 a 7)	6224

Výpočet:

- *Zubové frekvence*

$$f_1 = f_{\text{motor}} \cdot z_1 = 49,8 \cdot 19 = 946 \text{ Hz}$$

$$f_3 = f \cdot z_4 = 3,66 \cdot 59 = 215 \text{ Hz}$$

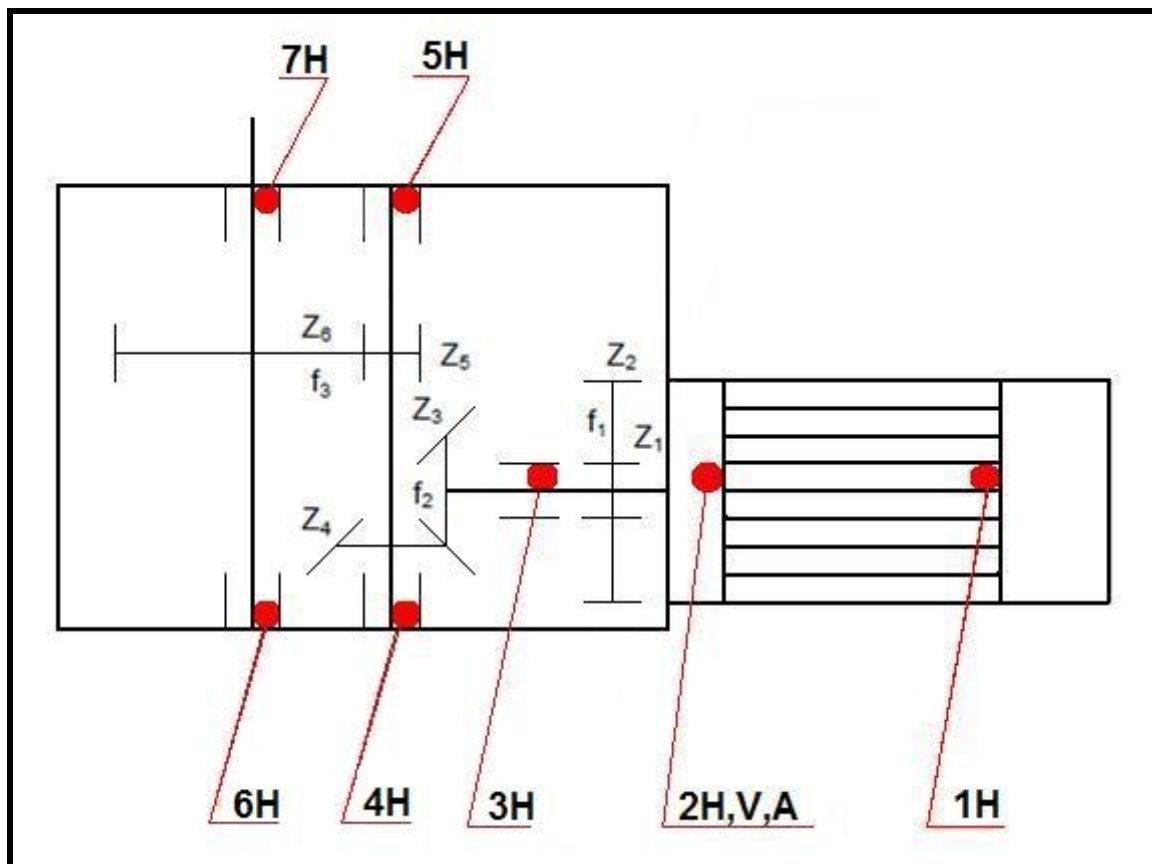
f_2 - jelikož hodnoty pro výpočet zubové frekvence nebyly zadány, ani nebyla známá, byla hodnota určena ze spektra měření

- *Počet zubů*

$$z_4 = \frac{f_2}{11,34} = \frac{379}{11,34} = 33 \text{ z}$$

$$z_3 = \frac{i_2}{z_3} = \frac{1,833}{33} = 18 \text{ z}$$

6.2.2 Schéma měřících míst



Obr.36 Schéma měřících míst

Měřící místa dle obr. 36.

elektromotor	volný konec u převodovky	měřící bod	1H (horizontální směr)
			2H (horizontální směr)
			2V (vertikální směr)
			2A (axiální směr)
převodovka	vstupní čelní ozubení	měřící bod	3H (horizontální směr)
	mezikolo 1	měřící bod	4H (horizontální směr)
			5H (horizontální směr)
	výstupní hřídel	měřící bod	6H (horizontální směr)
			7H (horizontální směr)

6.2.3 Měřicí přístroje

➤ *Snímač (obr.37)*

- ENTEK IRD International model 9400 výr. číslo 1135 (akcelerometr s napěťovým výstupem, citlivost 100 mV/g)
- výstup 8/12 VDC
- citlivost 100 mV/g



Obr.37 akcelerometr s napěťovým výstupem Entek IRD 9400 [23]

[<http://rockwellautomation.custhelp.com/ci/fattach/get/3463/1159080511>]

➤ *Frekvenční analyzátor (obr.38)*

- datakolektor ENTEK IRD International DataPac 1500.



Obr.38 Entek IRD datapac 1500 [24]

[http://www.usedvibration.com/Rockwell_Entek_IRD_Vibration.htm]

6.2.4 *Měřící metoda*

Byly měřeny:

- ✓ frekvenční spektra FFT rychlosti vibrací v detekci ISO RMS
- ✓ zrychlení vibrací v detekci PEAK-PEAK
- ✓ zrychlení vibrací gSE a za použití filtru 500Hz a 1000 Hz v detekci PEAK-PEAK
- ✓ časová vlna zrychlení v detekci PEAK-PEAK.

6.2.5 *Podmínky měření:*

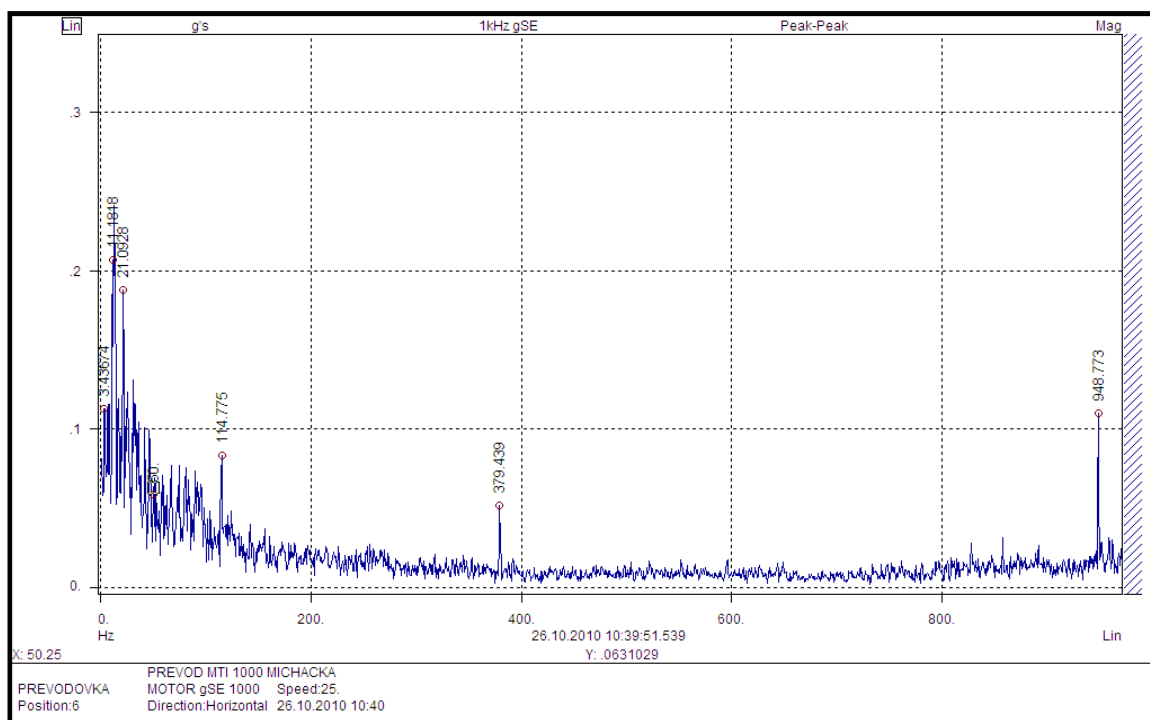
Měření bylo provedeno za běžného provozu bez zatížení a se zatížením a to při mlecím procesu z důvodů definování provozních podmínek pro případné další měření.

Pro frekvenční analýzu nízkofrekvenčních dynamických stavů jako nevývaha, nesouosost, mechanické uvolnění atd. byly voleny 3° volnosti soustavy, snímač byl upevněn v dalších dvou směrech (vertikální a axiální) pomocí přípravku.

Pro analýzu stavu ložisek, elektrických problémů elektromotoru, stavu ozubení převodovky apod. byl zvolen 1° volnosti soustavy, zpravidla byl volen horizontální směr uchycení snímače.

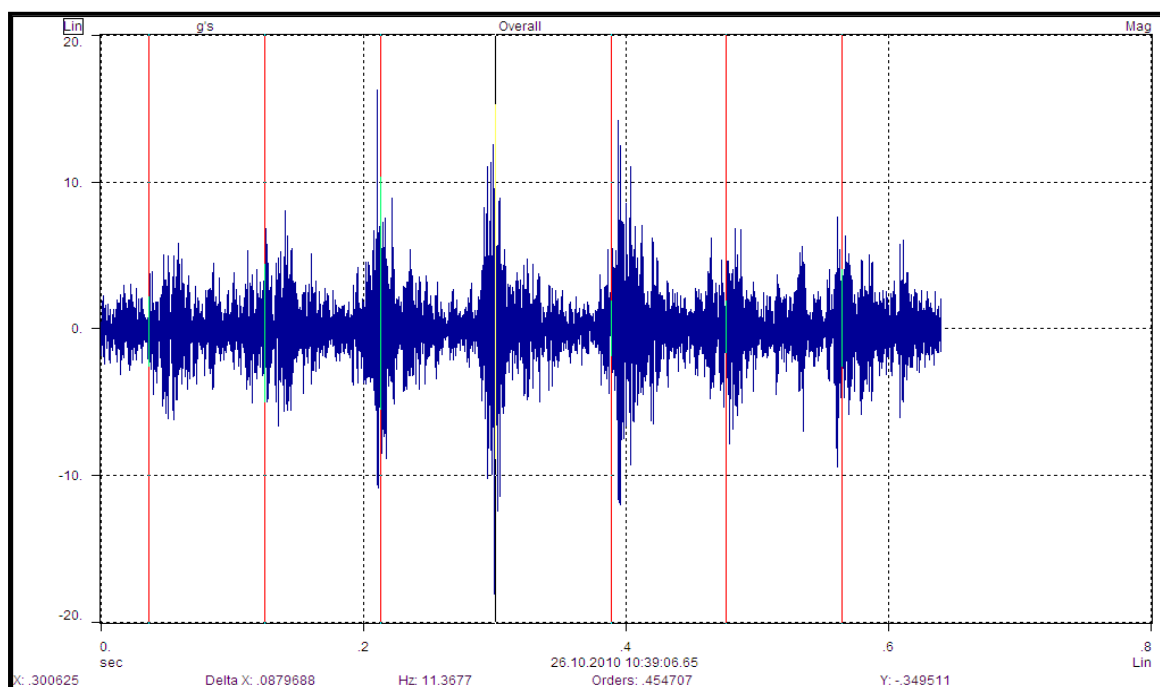
6.2.6 *Výsledky měření*

Spektrum FFT zrychlení gSE z měřicího **bodu 4** výstupní hřídele, na němž jsou označeny diskrétní otáčkové a zubové frekvenční složky, lze hodnotit jako provozní stav z důvodů nízké mohutnosti složek, obr.39



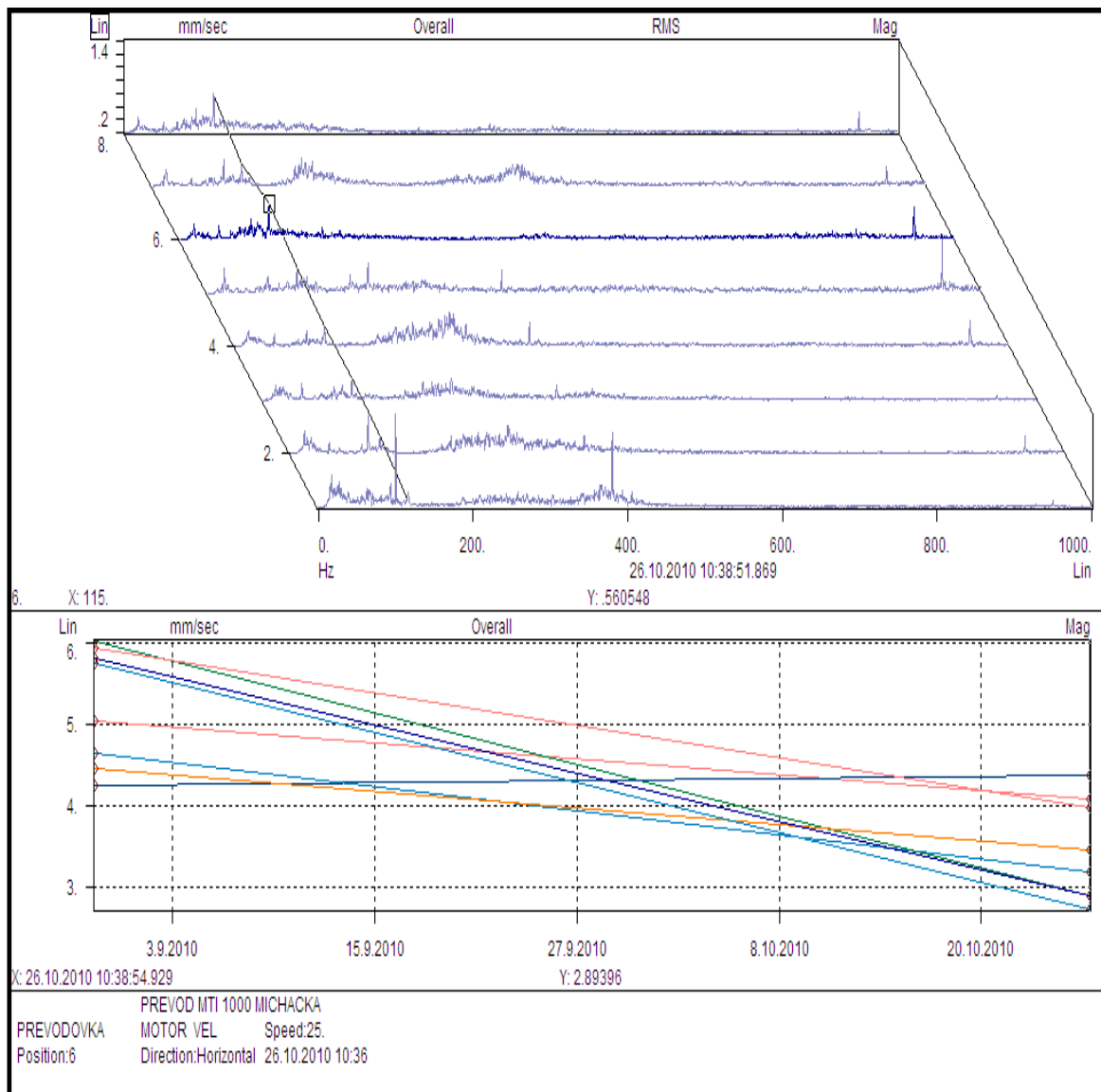
Obr.39 Spektrum FFT zrychlení gSE

Na časovém spektru FFT zrychlení vibrací z měřícího **bodu 5** jsou detekované výkmity s rozdílem 11,5Hz, kde lze možno specifikovat problém na uložení spodní hřídele nesoucí kuželové i čelní soukolí (**měřící bod 4 a 5**), obr.40



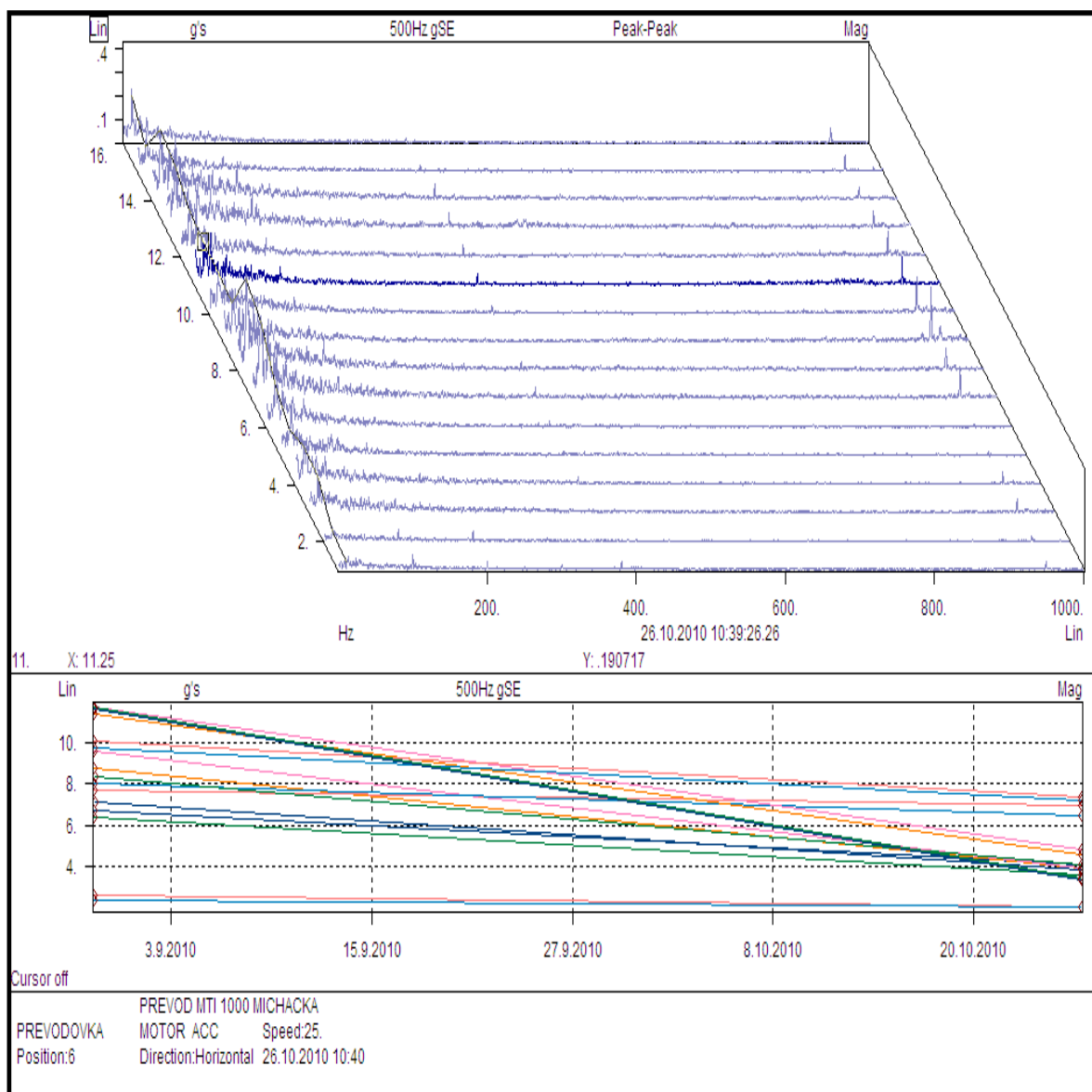
Obr.40 Časové spektrum FFT zrychlení vibrací

Na obr.41 je znázorněno kaskádové spektrum FFT rychlostí vibrací ze všech měřících směrů, kde můžeme vidět nízkou hladinu spekter, bez nějakých nedostatků. V trendovém diagramu lze vidět pokles celkových hodnot.



Obr.41 Kaskáda spekter FFT rychlostí vibrací

Na obr.42 je znázorněna kaskáda spekter FFT zrychlení metodou gSE ze všech měřících bodů, na němž lze také hodnotit nízkou hladinu spektra spodní hřídele na otáčkové frekvenci 11,25 Hz. V trendovém grafu je také znázorněn pokles celkových hodnot i mohutnosti vibrací.



Obr.42 Kaskáda spekter FFT zrychlení gSE

6.2.7 Metodický postup pro odběr vzorků převodového oleje

Všeobecně se vzorky odebírají do vzorkovnic o obsahu 300 ml, kdy se odebraný vzorek popíše a předá k rozboru.

Metodika odběru oleje:

1. odběr provést za provozní teplotě oleje (asi 65 °C), což je minimálně 20 minut činnosti převodovky a maximálně do 15 minut po její zastavení
2. odběr vzorku se provádí pomocí přípravku na odběr nebo odšroubováním výpustného zátky na dně převodovky, množství oleje pro odběr je 200-250 ml
3. vzorek musí být odebrán před doplněním olejové náplně novým olejem
4. při odběru vzorku nesmí dojít k jeho znehodnocení nežádoucími příměsemi, což by mělo být zabezpečeno čistotou přípravku na odběr, tak i čistotou vzorkovnice
5. po odběru musí být pečlivě uzavřena a označena štítkem, který obsahuje číslo vzorku.

Dále je na štítku uveden název strojního zařízení, mazané místo, druh maziva, provozní hodiny, množství náplně, datum odběru, kdo odběr provedl a označení požadovaných rozborů

Odebrání vzorků a následný rozbor oleje provedl Esos a.s.

Pro komplexnost vyhodnocení jsou nutné tyto základní údaje:

- identifikační údaje o převodovce
- technická dokumentace
- údaje o druhu maziva
- údaje o údržbě
- vzorek s průvodním štítkem
- protokol o výsledcích testů ověřených vedoucím diagnostického střediska s popisem další činnosti
- příkazy vedoucího diagnostického střediska
- komunikace diagnostického střediska a laboratoře

- požadavek na mimořádný odběr vzorku
- protokol rozboru maziv
- ferogramy

6.2.8 Rozbor převodového oleje

Olej odebrán k analýze:

TOP BLEND 85W/90

Značení podle klasifikací:

SAE 85W90 • ISO 220 • API GL 5 • MIL- L 2105C • ZF TE - ML 05

Jedná se o multiviskózní, víceúčelový převodový olej, který se používá pro extrémní tlaky v uzavřené převodové skříně. Je tvořen základovým olejem se syntetickými oleji s přísadami pro extrémní tlaky, proti opotřebení. Olej se využívá pro průmyslové uzavřené převodové skříně vyžadující GL-5, dále je možno jej používat pro převody na všechny 4 kola, diferenciály s omezeným prokluzem kol, převody s ručním řazením.

Obsahuje zejména antioxidační aditiva, protioděrové aditiva, přísady ošetřující těsnění a inhibitory koroze. Také obsahuje modifikátor tření, jenž zajišťuje optimální přilnavost ke kovovým povrchům, čímž dochází k minimálnímu odkapávání z převodů, což zajišťuje lepší mazací vlastnosti.

Fyzikální a chemické vlastnosti:

Bezbarvý, bez zápachu, viskózní kapalina	
Bod varu	310 °C
Tenze par	pod 110 kPa
Hustota	0.86-0.88 g/cm ³
Rozpustnost ve vodě	nerozpustný
Viskozita	210-230 cSt při 40 °C

A) KINEMATICKÁ VISKOZITA

Viskozita patří mezi základní zkušební údaje mazacích olejů, neboť definuje míru vnitřního tření. Kinematická viskozita patří mezi kvalitativní ukazatele olejů.

Změnou viskozity máme na mysli její zvyšování či snižování. Zvyšování viskozity je způsobeno vniknutím nečistot.. Snižování viskozity je způsobeno tepelnou a mechanickou degradací aditiv, záměnou oleje.

POSTUP MĚŘENÍ:

K určení viskozity byl použit kapilární viskozimetr Ubbelohde (obr.43), který je umístěn v temperační nádobě s vodou, která se nechává zahřívát na teplotu 40°C, do níž je ponořena kapilára, do které je naléván zhomogenizovaný vzorek oleje.

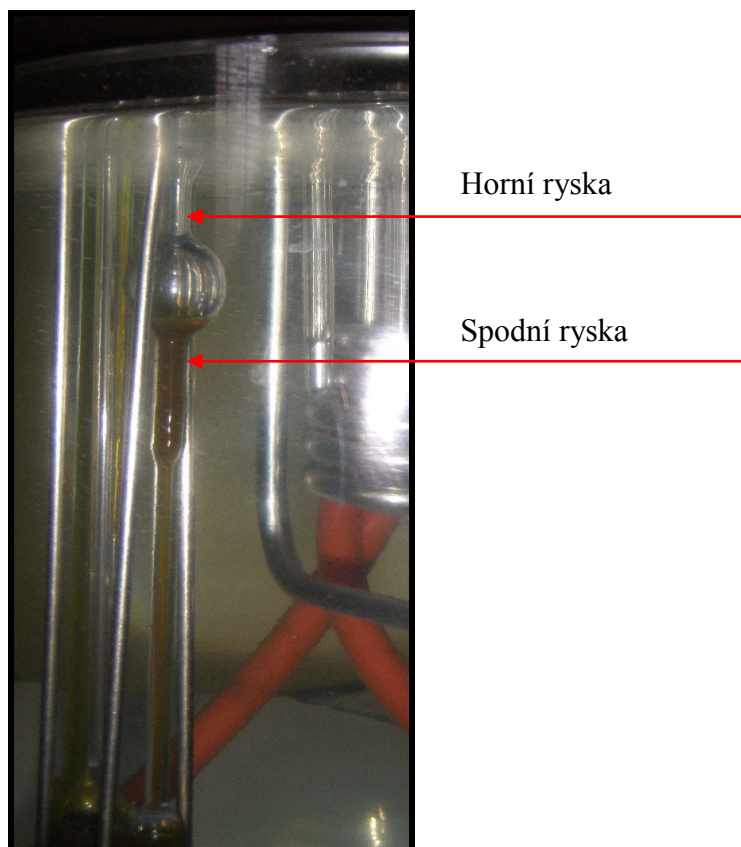
Po 30 minutách, kdy je vzorek oleje zahřátý na teplotu měření 40°C je vytlačován k horní části kapiláry a olej necháme stékat zpět a měříme čas, za který olej steče od horní rysky ke spodní. (obr.44)

Výsledná kinematická viskozita je dána součinem času, jenž byl naměřen a konstanty viskozimetru, což je hodnota udávaná výrobcem kapiláry. Dále je možno vypočítat dynamickou viskozitu.

Měření opakujeme alespoň 2x.



Obr.43 Měření kinematické viskozity



Obr.44 Viskozimetr Ubbelohde

- *Výpočet kinematické viskozity*

$$\nu = c \cdot t \text{ [mm}^2 \cdot \text{s}^{-1} \text{]}, \quad (7.1)$$

kde: ν ...kinematická viskozita

c ...konstanta viskozimetru dána výrobcem [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$]

t ...aritmetický průměr dob průtoku viskozimetru [s].

- *Výpočet dynamické viskozity*

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \text{ [m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \text{]}, \quad (7.2)$$

kde: η ...dynamická viskozita [Pa.s]

ρ ...hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

B) ČÍSLO ALKALITY TAN (Total acid number)

Hodnota čísla TAN nás informuje o celkové kyselosti maziva, což může zapříčinit vznik koroze. Kdy kyselé látky se v oleji vytváří v důsledku degradačních pochodů jako je oxidace. Je definováno jako množství KOH v mg, které je potřeba na neutralizaci kyselých složek obsažených v 1 gramu vzorku oleje.

POSTUP MĚŘENÍ

Ke stanovení alkality oleje je použita titrace kyselých sloučenin za reakci s hydroxidem draselným KOH na barevný indikátor. Zvážíme injekční stříkačku. Po homogenizování vzorku je provedena navážka vzorku odebráním vzorku injekční stříkačkou a zvážíme.

Po zapnutí teflonového míchadla (obr.45) a zapojení elektrod se stlačí klávesnice RESET, kdy neprovedena před filtrace, neboli modrý roztok v titrační nádobce zčernalí. Po nastavení kompenzačního proudu stříkneme odebraný vzorek do titrační nádobky. Po titraci je na displeji zjištěná hodnota v $\mu\text{g KOH}$. Po zaznamenání hodnoty navážky na přístroji je hodnota zjištěné při titraci převedena na hodnotu obsahu čísla kyselosti v mg KOH/g .

Zkoušku provedeme 2x.



Obr.45 Stanovení čísla alkality

C) STANOVENÍ OBSAHU MECHANICKÝCH NEČISTOT

Metoda nám slouží ke stanovení množství mechanických nečistot nalézajících se v převodovce. Lze analyzovat jak jejich tvar, tak můžeme určit i jejich chemické složení.

Kritéria pro hodnocení mechanických nečistot jsou:

- jejich množství a chemické složení
- obsah nekovových částic a korodovaných částic
- klasifikace podle tvaru
 - *adhezivní částice*: vznikají běžným opotřebením
 - *abrazivní částice*: vznikají pronikáním povrchů částic
 - *sférické částice*: zejména se objevují u valivých ložisek
 - *laminární částice*: při jejich výskytu je zjevná havárie valivých ložisek spolu se sférickými částicemi
 - *únavové částice*: vzniklé vylupováním povrchu součástí
 - *částice kritického opotřebení*: jedná se o trojrozměrné částice, které mívají často barvu zlatou, bronzovou či fialovou

POSTUP MĚŘENÍ:

Filtr určený k měření necháme vysušit na dobu 30 minut a následně filtr zvážíme (hmotnost m_1). Pak filtr umístíme do filtrační nádoby (obr.46) naléváme do filtrační nádoby 100ml zhomogenizovaného oleje, který je zředěn rozpouštědlem. Vlivem podtlaku, který je vytvářen ve filtrační nádobě, olej přetéká přes filtr, na němž se usazují nečistoty. Po přefiltrování necháme filtrační papír vysušit v sušičce po dobu 30 minut a pak jej zvážíme (hmotnost m_2). Tak stanovíme hmotnostní přírůstek:

$$X = \frac{m_2 - m_1}{\text{množství vzorku}} \cdot 100 \% , \quad (7.3)$$



Obr.46 Stanovení mechanických nečistot

D) FERROGRAFIE

Ferrografie je analytická metoda k hodnocení znečištění oleje, která je založená na separaci kovových částic za působení magnetického pole.

U ferrografie dochází k systematické separaci částic z oleje na sklíčko. Vyhodnocení vzorků je provedeno pomocí optického měření či mikroskopickým pozorováním částic, kde lze zkoumat velikost, množství částic, složení, tvar a také povrchový stav kovových a nekovových částic.

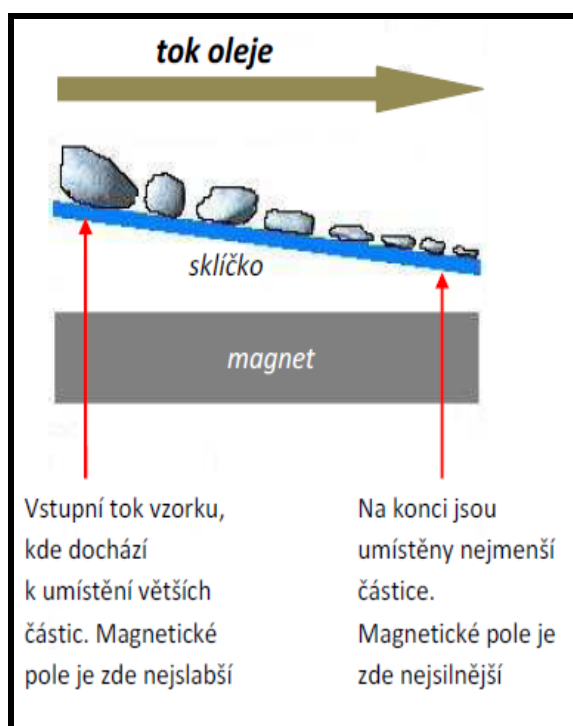
POSTUP MĚŘENÍ:

Olej zahřejeme na 40°C. Na sklíčko, které je na nakloněné rovině, přiváděn zhomogenizovaný, zředěný vzorek oleje pro lepší srážení částic a přilnavost z injekční stříkačky. Sklíčko je umístěno nad magnetickým hranolem. (Obr.47)



Obr.47 Zhotovení ferrogramu

Vzorek stékající po sklíčku je zmagnetizován a vytváří dlouhé kovové řetězce, kde největší částice jsou na vstupním toku vzorku (obr.48). Po odstranění nemagnetických částic umytím pomocí rozpouštědla, kdy se odstraní i zbytkový olej, se vzniklý ferrogram nechá vysušit a částice jsou permanentně spojeny se sklíčkem.



Obr.48 Umístění částic na ferrogramu [20-vlastní úprava]

Ferrogram umístíme pod mikroskop (Obr.49). Za použití bichromatického osvětlení a barevných filtrů je prováděno vyhodnocení ferrogramu – počet, velikost a charakter částic.



Obr.49 Mikroskop pro hodnocení ferrografu

Za použití červeného filtru a spodního a horního osvětlení jsou vyhodnocovány ocelové a zoxidované částice. Vyhodnocení začínáme od velkých částic L. Při polarizačním filtru bez spodního osvětlení vyhodnotíme prachové částice, neboli malé částice S. Za použití zeleného filtru vyhodnotíme přítomnost magnetických a nemagnetických sférických částic. Železité částice jsou umístěny ve směru magnetických siločar, nemagnetické napříč, kdy neželezné částice dělíme podle barevnosti vyjmutím červeného filtru (viz. Tab.9).

Tvary částic:

○ adhezivní oděr

- tvoří šupinky vločkovitého tvaru o velikosti 5-15 μm a tloušťka se pohybuje od 0,25 až 0,75 μm .

○ abrazivní oděr

- jedná se o lineární dlouhé tvary o délce až ve stovkách mikrometrů a tloušťka je v desetinách mikrometrů

○ únavové opotřebení

- jsou typické pro převodové systémy, kdy jejich tvar nabývá trojrozměrného vzhledu, jejichž povrch je nerovný a rýhovaný

Materiál částic	Osvětlení			
	Horní-červený Zelený- spodní	Dolní - zelený	Bez filtrů	Poloha na ferrogramu
hliník	<i>Jasně červená zářící</i>	<i>Bílá</i>	<i>Bílá</i>	<i>Mimo řetízky</i>
měď	<i>Červená zářící</i>	<i>Zářivě zlatožlutá</i>	<i>Zářivě zlatožlutá</i>	<i>Mimo řetízky</i>
mosaz	<i>Červená zářící</i>	<i>Světle žlutá slámová</i>	<i>Světle žlutá slámová</i>	<i>Mimo řetízky</i>
bronz	<i>Červená zářící</i>	<i>Žlutá bronzově zářící</i>	<i>Bronzová</i>	<i>Mimo řetízky</i>
rez	<i>Světle červená až oranžová</i>	<i>hnědošedá</i>	<i>Hnědošedá</i>	<i>Částečně pokrývá řetízky</i>
litina	<i>Hnědočervená až černá, zářící plošky</i>	<i>Černá, bílé až světle žluté plošky</i>	<i>Černá, bílé až světle žluté plošky</i>	<i>řetízkuje</i>
ocel	<i>Červené zářící plošky</i>	<i>Černá, slámově žluté plošky</i>	<i>Černá, slámově žluté plošky</i>	<i>řetízkuje</i>

Tab.9 Rozlišení částic v bichromatickém osvětlení [5]

E) OBSAH VODY

Přítomnost vody, jak jsem již zmínila, je jednou z hrozeb znečištění převodového oleje, což může způsobit:

- korozi součástí
- pění oleje
- tvorbu emulze
- zvyšování viskozity
- snižování oxidační stability
- tvorbu kalů

POSTUP MĚŘENÍ:

K určení množství vody byla použita chemická zkouška dle Karl-Fischera, jejíž hlavním principem je oxidační reakce jódu. Olej zahřátý na 40°C protřepeme a injekční

stříkačkou nabereme zhomogenizovaný vzorek oleje a zvážíme. Po spuštění vlastní titrace ve stanovené době vstříkneme pomocí stříkačky daný vzorek do titrační nádoby s roztokem titračního činidla (obr.50), kde došlo k elektrochemické reakci. Pomocí jódu, který s vodou reaguje můžeme určit její množství. Hodnota množství vody se nám objeví na přístroji v jednotkách ppm (parts per milion, nebo-li 1mg v 1l)



Obr.50 Měření obsahu vody dle K.Fischera

7 VYHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ VE SROVNÁNÍ SE STAVAJÍCÍM ŘEŠENÍM [7,8]

Ačkoliv jsem v ideovém návrhu zmiňovala další metody ke zjištění a zhodnocení technického stavu převodovky, metody vibrodiagnostiky a metody tribodiagnostiky lze hodnotit jako dostačující k dosavadnímu technickému stavu. Shrnutí měření bude v následujících bodech.

7.1 VIBRODIAGNOSTIKA

K hodnocení výsledků (tab.11,12,13) snímaných při měření byla použita norma ČSN ISO 10 816-1 určeny pro výkon elektromotoru 30kW na základě níž byly vyhodnoceny celková mohutnost vibrací na elektromotoru a převodovce dle této normy.

K hodnocení stavu tohoto strojního zařízení je určeno těmito stavy (tab.10)

- ❖ **dobrý** – efektivní hodnota rychlosti vibrací **do 1,8 mm/s** – vibrace dosahují hodnot nových přejímaných strojů
- ❖ **uspokojivý** – efektivní hodnota rychlosti vibrací **1,8- 4,5 mm/s** – jedná se o vibrace, které jsou schůdné s neomezeným provozem
- ❖ **neuspokojivý** – efektivní hodnota vibrací **4,5-9,3 mm/s** – po zhodnocení těchto hodnot vibrací není doporučován neomezený a dlouhodobý provoz. Je doporučena oprava stroje.
- ❖ **nepřípustný** – efektivní hodnota vibrací **nad 9,3 mm/s** – snímané vibrace dosahují nepřípustných hodnot, kdy může dojít až k havárii stroje

Hodnocení technického stavu strojního zařízení:				
vibrace dle normy ČSN ISO 10816-1	<i>Dobrý do 1,8 mm/s</i>	<i>Uspokojivý 1,8-4,5mm/s</i>	<i>Neuspokojivý 4,5-9,3mm/s</i>	<i>Nepřípustný nad 9,3mm/s</i>
stav ložisek, mazání a převodů	<i>dobrý</i>	<i>provozní</i>	<i>zhoršený</i>	<i>havarijní</i>

Tab.10

měřící bod	vibrace ČSN ISO 10816	ložisko-ozubení	mazání
1 - elektromotor - volný konec	<i>uspokojivý</i>	<i>Dobrý</i>	<i>dobrý</i>
2 - elektromotor - u převodovky	<i>uspokojivý</i>	<i>Dobrý</i>	<i>dobrý</i>
3 - převod - vstup	<i>uspokojivý</i>	<i>Provozní</i>	<i>dobrý</i>
4 - převod - mezikolo	<i>uspokojivý</i>	<i>Zhoršený</i>	<i>dobrý</i>
5 - převod - mezikolo	<i>uspokojivý</i>	<i>Zhoršený</i>	<i>dobrý</i>
6 - převod - výstup	<i>uspokojivý</i>	<i>Provozní</i>	<i>dobrý</i>
7 - převod - výstup	<i>uspokojivý</i>	<i>Provozní</i>	<i>dobrý</i>

Tab.11

Dle kaskádového spektra FFT rychlosti vibrací nebyly zjištěny nedostatky, hodnoty vibrací lze hodnotit jako uspokojivé, tudíž vhodné k dalšímu nepřetržitému provozu.

Na základě měření zrychlení metodou gSE byla diagnostikována ve spektru FFT nízká hladina spektra spodní hřídele a dominantní složka na frekvenci mezikola. U ložiska měřícího bodu 4 a bodu 5 byl pomocí zrychlení metodou gSE detekován ve spektru FFT zhoršený stav ložiska.

Na základě trendového grafu lze zhodnotit pokles celkových hodnot.

Výsledné hodnoty – ELEKTROMOTOR (tab.12)

místo	měřící bod	měřící směr	amplituda	jednotky	filtr	hodnoty
ELEKTROMOTOR ACC	1	<i>horizontal</i>	<i>Magnitude</i>	<i>g's</i>	<i>Overall</i>	2.74
ELEKTROMOTOR VEL	1	<i>horizontal</i>	<i>Magnitude</i>	<i>mm/sec</i>	<i>Overall</i>	4.09
ELEKTROMOTOR gSE 500	1	<i>horizontal</i>	<i>Magnitude</i>	<i>g's</i>	<i>500Hz gSE</i>	2.09
ELEKTROMOTOR ACC	2	<i>horizontal</i>	<i>Magnitude</i>	<i>g's</i>	<i>Overall</i>	4.45
ELEKTROMOTOR VEL	2	<i>horizontal</i>	<i>Magnitude</i>	<i>mm/sec</i>	<i>Overall</i>	3.2
ELEKTROMOTOR gSE 500	2	<i>horizontal</i>	<i>Magnitude</i>	<i>g's</i>	<i>500Hz gSE</i>	3.64
ELEKTROMOTOR VEL	2	<i>vertical</i>	<i>Magnitude</i>	<i>mm/sec</i>	<i>Overall</i>	4.2
ELEKTROMOTOR VEL	2	<i>axial</i>	<i>Magnitude</i>	<i>mm/sec</i>	<i>Overall</i>	2.74

Tab.12

Výsledné hodnoty – PŘEVODOVKA (tab.13)

místo	měřicí bod	měřicí směr	amplituda	jednotky	filtr	hodnoty
PŘEVODOVKA ACC	3	horizontal	Magnitude	g's	Overall	4.11
PŘEVODOVKA VEL	3	horizontal	Magnitude	mm/sec	Overall	3.47
PŘEVODOVKA gSE 500	3	horizontal	Magnitude	g's	500Hz gSE	4.06
PŘEVODOVKA ACC	4	horizontal	Magnitude	g's	Overall	5.18
PŘEVODOVKA VEL	4	horizontal	Magnitude	mm/sec	Overall	2.89
PŘEVODOVKA gSE 500	4	horizontal	Magnitude	g's	500Hz gSE	4.57
PŘEVODOVKA ACC	5	horizontal	Magnitude	g's	Overall	8.28
PŘEVODOVKA VEL	5	horizontal	Magnitude	mm/sec	Overall	3.99
PŘEVODOVKA gSE 500	5	horizontal	Magnitude	g's	500Hz gSE	7.31
PŘEVODOVKA ACC	6	horizontal	Magnitude	g's	Overall	3.84
PŘEVODOVKA VEL	6	horizontal	Magnitude	mm/sec	Overall	2.74
PŘEVODOVKA gSE 500	6	horizontal	Magnitude	g's	500Hz gSE	3.43
PŘEVODOVKA ACC	7	horizontal	Magnitude	g's	Overall	2.68
PŘEVODOVKA VEL	7	horizontal	Magnitude	mm/sec	Overall	1.55
PŘEVODOVKA gSE 500	7	horizontal	Magnitude	g's	500Hz gSE	2.61

Tab.13

7.2 TRIBODIAGNOSTIKA

Odběr oleje byl proveden po dvou letech jeho používání a po následné výměně byl proveden po 14 dnech provozu. Hodnocení celkového stavu oleje je znázorněno v tab.14.

Hodnocení – stav degradace a znečištění olejové náplně:			
	dobrý	uspokojivý	nepřípustný
- stupeň opotřebení strojních částí:			
	nízký	střední	vysoký

Tab.14

V následující tab.15 jsou znázorněny výsledky rozboru oleje, jež byly provedeny ke zhodnocení kvality oleje, kde si lze všimnout poklesu kinematické viskozity v obou případech odběru, což lze hodnotit jako hodnoty přípustné k dalšímu použití. Stejně tak lze

hodnotit i množství vody. Hodnoty mechanických nečistot jsou vysoké a hodnoty čísla kyselosti jsou v obou případech vysoká, což signalizuje na zvýšení oxidace a degradaci oleje.

TOP BLEND 85W-90**Předmíchačka EM-500**

Datum	Doporučené limity	nový olej	16.8.10	30.8.10
Provozní hodiny			2 roky	2 týdny
Kin. visk./40°C (mm ² /s)	nárůst či pokles o max. 15%	220,00	195,51	204,89
Obsah vody v ppm	max. 1000 ppm		390	192
Mechanické nečistoty v %			6,07	1,60
Číslo kyselosti mg KOH/g	zvýš. max. 0,2 za 3 měsíce		4,17	2,77
Barva	změna	hnědá	černá	
Vzhled	změna	čirý	neprůhledný	

Tab.15

Následně při ferrografické metodě byla zjištěna vysoká koncentrace kovového otěru. Na ferogramu byl zaznamenán havarijní výskyt Cu kompozice (tab.16,17)

Ferrografický protokol**Předmíchačka EM-500**

Datum odběru 16.8.2010		Druh oleje : TOP BLEND 85W90 Provozní hodiny : 2 roky			Objem vzorku do práce 0,1+19(32)/32	
Částice					při zvětšení 250 x	
		v um				
Havarijní	9,5					0,0
Únavové	7,5	85	10	ZP/L		15,0
Abrazivní	8,7					0,0
Adhezivní	7				překryv	
Sférické	5,2					0,0
MO	3,4	90	8	ZP/L		6,8
PDO	1,8					0,0
Fe ₂ O ₃	2,8		ojediněle			
Fe ₃ O ₄	5					0,0
Si (prach)	3,3		vysoký	FS		9,3
Cu	4,9		havarijní	FS		19,6
Al	4,3					0,0
Pb	4,7					0,0
Zn a Sn	4,5					0,0
Cr	4					0,0
					Celkem	53,5
Kvantitat.	D _I	D _s	D _{kor}	WPC	PLP v %	
nehodnocena						

Tab.16

Ferografický protokol					Předmíchačka EM-500	
Datum odběru 30.8.2010		Druh oleje : TOP BLEND 85W90 Provozní hodiny : 2 týdny			Objem vzorku do práce 0,1+19(32)/32	
Částice	Kód	Max.vel. v um	Počet	Pozice	Popis částic při zvětšení 250 x	Kód.hod.
Havarijní	9,5					0,0
Únavové	7,5	100	7	ZP/L		15,0
Abrazivní	8,7					0,0
Adhezivní	7					0,0
Sférické	5,2					0,0
MO	3,4	80	6	ZP/L		6,8
PDO	1,8					0,0
Fe ₂ O ₃	2,8		ojediněle	FS		2,8
Fe ₃ O ₄	5					0,0
Si (prach)	3,3	80	10	FS		6,6
Cu	4,9		havarijní	FS		19,6
Al	4,3					0,0
Pb	4,7					0,0
Zn a Sn	4,5					0,0
Cr	4					0,0
					Celkem	50,8
Kvantitat.	D _I	D _s	D _{kor}	WPC	PLP v %	
	nehodnocena					

Tab.17

Legenda k tab.16 a 17:D_I ... denzita velkých částic LD_s ... denzita malých částic SD_{kor} ... denzita korigovaná

WPC... koncentrace kovového otěru vztažená na 1ml vzorku oleje použitého k přípravě ferogramu

PLP ... stupeň opotřebení zařízení, procento velkých částic L, které vystihuje kvantitativní zastoupení částic

ZP/L ... zorné pole v pozici L

MO ... metaloxidy

FS ... ferografická stopa

PDO ... produkty degradace oleje

Z celkového hlediska na základě provedených zkoušek lze převodový olej hodnotit jako nepoužitelný pro další provoz. (tab.18).

	stav degradace a znečištění olejové náplně:	stupeň opotřebení strojních částí:
Převodovka	<i>nepřípustný</i>	<i>vysoký</i>

Tab.18

8 ZÁVĚR

V úvodní části diplomové práce jsem se zmínila krátkosti o údržbě, jako nedílnou součást zabezpečující spolehlivost a provozuschopnost strojů a strojních zařízení za optimálních provozních nákladů. Prostředek zajištění údržby, na který jsem se zaměřila je oblast technické diagnostiky, sloužící k objektivnímu zhodnocení technického stavu strojů a zařízení. Technická diagnostika obsahuje několik metod k hodnocení tohoto stavu. Ve své práci jsem se zaměřila na vibrodiagnostiku a tribodiagnostiku a jejich následnou aplikaci na převodovku MOTOX.

U vibrodiagnostického měření byly na převodovce naměřeny celkové hodnoty rychlosti, zrychlení a zrychlení gSE vibrací ke stanovení jejího objektivního technického stavu a provedena i frekvenční analýza, spolu s časovou vlnou těchto parametrů, k odhalení příčin zvýšených hodnot vibrací. K hodnocení stavu převodovky byla použita norma ČSN ISO 10 816 pro stroje vyhovující našim parametrům celého strojního zařízení. Dle této normy byl diagnostikován zhoršený stav při měření rychlosti v měřicím bodě 4 a bodě 5.

Z prvního tribodiagnostického měření je patrná degradace převodového oleje – nárůst čísla kyselosti, jehož příčinou je také vznik koroze a také zvýšený obsah mědi. Olej byl doporučen vyměnit a následně byl proveden kontrolní odběr vzorku oleje po 14 dnech provozu a opět byly naměřeny zvýšené hodnoty čísla kyselosti nad hodnotu stanovené tolerance a opětovný výskyt mechanických nečistot.

Z hodnocení technického stavu převodovky dle vibrodiagnostického měření byly naměřeny zvýšené hodnoty, v již zmíněném měřicím bodě 4 a 5, vykazující zhoršený stav v uložení hřídele. Z rozboru oleje je patrný výskyt Cu kompozice, i po výměně převodového oleje, což může vykazovat také špatný technologický postup výměny převodového oleje, při němž zůstaly pozůstatky mechanických částic vyměňovaného oleje. Jelikož konstrukční materiál ložisek neobsahuje měď, nýbrž ložiskové klece jsou plechové, doporučuji provést endoskopickou kontrolu a zjištění možných příčin vzniku Cu kompozice. Bude-li výsledek kontroly v pořádku, doporučuji odbornou výměnu převodového oleje. Dále pak doporučuji následné kontrolní měření za 2 měsíce a to jak použití vibrodiagnostiky, tak tribodiagnostiky. Budou-li nadále hodnoty měření nadále zvyšovat doporučuji demontáž převodovky a následnou opravu.

9 Seznam použité literatury

- [1] HELEBRANT, F., *Technická diagnostika a spolehlivost IV. – Provoz a údržba strojů*, Ostrava 2008,. 130 s. ISBN 978–80-248–1690-8
- [2] ZIEGLER, J., HELEBRANT, F., *Technická diagnostika a spolehlivost II. – - Vibrodiagnostika*. Ostrava 2005. 178 s. ISBN 80-248-0650-9
- [3] KREIDL, M., ŠMÍD, R., *Technická diagnostika*, Praha 2006. 408 s. Technická literatura BEN, ISBN 80-7300-158-6
- [4] BERRY, J., Ilustrovná tabulka pro diagnostiku vibrací dle Berryho, Technical associates of Charlottte, P.C.R – 0894-4, 2005
- [5] ZIEGLER, J., HELEBRANT, F., MARASOVÁ, D., *Technická diagnostika I. – Tribodiagnostika*. Ostrava 2004. 155 s. ISBN 80-7078-883-6
- [6] BOGÁROVÁ, A., *Vliv oleje na životnost motoru automobilu*, VŠB-TU Ostrava, 2009. Bakalářská práce. VŠB – TU Ostrava
- [7] Podkladové materiály firmy ESOS s.r.o., Ostrava
- [8] ČSN ISO 10 816 - 1 *Vibrace-Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech-Část 3: Všeobecné směrnice*, Český normalizační institut, Duben 1998

Internetové adresy

- [9] http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostika/VIBDI_6.pdf
- [10] http://cs.wikipedia.org/wiki/Kuli%C4%8Dkov%C3%A9_lo%C5%BEisko
- [11] <http://www.cdm.cas.cz/czech/hora/vyuka/tdk/sem2006/>
- [12] http://www.pruftechnik.com/fileadmin/user_upload/COM/Machinery_Service/PDFs/VIB_Booklet_CZ.pdf
- [13] <http://www.madoil.cz/index.php?id1=26&menu=20&lg=cz>
- [14] http://oleje.cz/index.php?left=dvoudobe_vykon&page=mot_porovnani
- [15] <http://www.fuchs-oil.cz/index.php/automotive/10-otazek-o-prevodovych-olejich.html>
- [16] <http://www.machinerylubrication.com/Read/1642/industrial-gear-oil>

- [17] <http://www.vkloziska.cz/plasticka-maziva-a-oleje/prumyslove-oleje-shell/oleje-mazaci---prevodove.html>
- [18] http://www.kernite.com/kernite/productView_byName.asp?country=CZH&language=Czech&language_id=1&product_cat=name&product_cat_desc=Products+By+Name&pName=TOP+BLEND+85W90+ISO+220
- [19] http://www.kernite.com/kernite/viewArticle.asp?countryName=Czech&language_id=1&language=Czech&country=CZH&cat_id=11&cat_desc=Products&article_id=19522
- [20] <http://www.machinerylubrication.com/Read/5>
- [21] http://www.adash.cz/doc/a4900/a4900_v3_man_cz.pdf
- [22] <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40375.pdf>
- [23] <http://rockwellautomation.custhelp.com/ci/fattach/get/3463/1159080511>
- [24] http://www.usedvibration.com/Rockwell_Entek_IRD_Vibration.htm
- [25] http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostics/VIBDI_7_monitorování.pdf
- [26] http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostics/VIBDI_2_akcelerometry.pdf
- [27] http://oleje.cz/index.php?left=main&page=prum_visko
- [28] http://oleje.cz/index.php?left=main&page=prum_vykon
- [29] http://oleje.cz/index.php?left=main&page=pre_visko
- [30] http://oleje.cz/index.php?left=historie_api&page=pre_vykon